Maria Rădoane
Nicolae Rădoane
Ioniță Ichim
Virgil Surdeanu

IV-15.122

RAVENELE

FORME, PROCESE, EVOLUȚIE

EDITURA PRESA UNIVERSITARĂ CLUJEANĂ

BCU CLUJ / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

MARIA RĂDOANE
IONIȚĂ ICHIM
NICOLAE RĂDOANE
VIRGIL SURDEANU

RAVENELE

Forme, procese şi evoluţie

056902
B.C.U. - IASI

Presa Universitară Clujeană
1999

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

CUVÂNT ÎNAINTE

Aproape peste tot pe Terra, dar cu precădere în regiunile cu regim continental al precipitațiilor, versanții sunt fragmentați de rețele de văi cu scurgere intermitentă sau de canale de drenaj cunoscute sub denumirea de ravene (gully *în limba engleză*). *Pentru aceste forme de relief, uneori, mai sunt întâlniți termeni ca* arroyo, uvrag, wadi, donga *sau* lavaka, *preluați din diferite părți ale lumii. Ravenele, ca și procesele de eroziune în adâncime care le generează, au o tendință accelerată de extindere pe Terra, fiind unul dintre fenomenele cu perspective evidente de globalizare în detrimentul unei utilizări eficiente a terenurilor.*

Lucrarea "Ravenele. Forme, procese și evoluție" *prezintă o sinteză a stadiului actual al cunoștințelor în acest domeniu și rezultatele investigațiilor intreprinse de autori în Podișul Moldovei. Structurată logic în nouă capitole distincte, lucrarea se remarcă printr-o abordare modernă a problemelor, analizate la nivelul celor mai recente cercetări existente pe plan internațional.*

În prima parte, autorii au prezentat noțiunile esențiale referitoare la definirea și clasificarea ravenelor și au conturat în detaliu baza conceptuală de investigare pe teren și în laborator, fiind folosite numeroase exemplificări sugestive din diferite regiuni ale Globului. Această parte conferă lucrării un evident caracter metodologic și contribuie la conturarea unui sistem coerent de investigare a ravenelor, în concordanță cu preocupările existente în comunitatea științifică internațională. În acest context, pentru evaluarea corectă a mecanismelor de evoluție a ravenelor, autorii au simțit nevoia să dezbată succint unele concepte fundamentale pentru geomorfologie, cum sunt cele referitoare la pragurile geomorfologice, la creșterea alometrică și la legea exponențială a evoluției în geomorfologie.

Analiza cauzelor inițierii proceselor de ravenare este însoțită de prezentarea răspândirii acestora, fiind analizate cu precădere arealele studiate de autori în Podișul Moldovei. Investigațiile autorilor în acest spațiu au fost cuantificate prin patru seturi de variabile la profilele longitudinale și transversale, la morfometria bazinelor de drenaj și la depozitele de suprafață. Deosebit de utilă pentru evaluarea proceselor de ravenare este diferențierea factorilor care afectează

eroziunea, în două seturi de variabile (intrinsece şi extrinsece), a căror acţiune sinergetică necesită, în continuare, investigaţii aprofundate.

Pentru o evaluare cât mai precisă a intensităţii fenomenelor de ravenare din Podişul Moldovei, autorii au utilizat cu discernământ procedeele statisticii matematice, evidenţiind rolul important al variabilelor de ordin morfologic, litologic şi structural.

Pe baza unor cercetări de lungă durată asupra unor seturi de caracteristici ale ravenelor (variabile independente), relativ uşor de obţinut pe teren şi pe planuri topografice, autorii au reuşit să elaboreze un sistem de ecuaţii de regresie multiplă pentru evaluarea ratei de avansare a proceselor de ravenare. Autorii au stabilit că suprafaţa bazinului de drenaj amunte de vârful ravenelor este cea mai importantă variabilă independentă, care asigură, cu o pondere de 54%, intensitatea procesului de extindere a ravenelor. Interesante sunt şi evaluările referitoare la factorul litologic. Astfel, spre exemplu, pe argile şi marne, ravenele sunt mai lungi şi mai puţin adânci, iar rata de creştere în lungime este mai redusă. La polul opus, ravenele dezvoltate pe depozite nisipoase sunt scurte şi adânci, iar rata de retragere este foarte viguroasă.

Datorită stilului clar şi atrăgător, explicării precise a noţiunilor utilizate şi ilustrării grafice sugestive a fenomenelor prezentate, volumul este accesibil şi util pentru un cerc larg de cititori.

În încheiere, recomandăm cu căldură această lucrare valoroasă, nu numai geografilor, ci şi specialiştilor care se ocupă cu amenajarea versanţilor şi managementul mediului.

Prof. univ. dr. Dan Bălteanu
Membru Corespondent al Academiei Române

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

CUPRINS

1. ARGUMENT/11

2. TERMINOLOGIE/19

3. CLASIFICAREA RAVENELOR/25

4.CONCEPTE TEORETICE ÎN SPRIJINUL CERCETĂRII RAVENELOR/35
- 4.1. Conceptul de prag geomorfologic/35
- 4.2. Conceptul de creştere alometrică/38
- 4.3. Legea exponenţială a evoluţiei în geomorfologie/40

5. METODE DE INVESTIGARE A RAVENELOR/44
- 5.1. Metode de lucru în teren şi tehnici de inventariere/44
- 5.2. Metode de lucru în laborator/47
- 5.3. Procesarea datelor obţinute/49

6. CAUZELE INIŢIERII RAVENELOR/51
- 6.1. Climatul/54
- 6.2. Relieful/59
- 6.3. Geologia substratului şi solurile/62
- 6.4. Cauze antropice/63
- 6.5. Efectul scurgerii de suprafaţă/65
- 6.6. Efectul scurgerii de subsuprafaţă/69

7. RĂSPÂNDIREA RAVENELOR/75
- 7.1. Consideraţii generale/75
- 7.2. Repartiţia areală a ravenelor pe sistem grilă/81
  - 7.2.1. Caz studiu: interfluviul Siret - Prut/81
    - 7.2.1.1. Analiza statistică a repartiţiilor ravenelor/82
    - 7.2.1.2. Relaţii între variabile/90
  - 7.2.2. Caz studiu: eroziunea prin ravenaţie într-un climat temperat cald al Africii de Sud (Lesotho)/92

BCU IAŞI - CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

8. GEOMORFOMETRIA RAVENELOR/101
8.1. Asupra dezvoltării alometrice a ravenelor/102
8.2. Efectul compoziţiei granulometrice a depozitelor din ravene/108
8.2.1. Variabilitatea spaţială a granulometriei depozitelor din ravene/111
8.2.2. Analiza factorială a geomorfometriei ravenelor/113
8.2.2.1. Analiza factorială *R* - mod/114
8.2.2.2. Analiza facorială *Q* - mod/117
8.2.3. Media ponderată a conţinutului de silt - argilă din secţiunea transversală - criteriu de clasificare a ravenelor/127
8.3. Natura proceselor geomorfologice din sistemul ravenelor/129
8.3.1. Procesele de mal /130
8.3.2. Procesele de transport longitudinal /145
8.3.3. Raportul proceselor de mal şi transport longitudinal în evoluţia ravenelor/149
8.3.4. Rolul proceselor de agradare în evoluţia ravenelor/156
8.3.5. Chimismul depozitelor de ravenă şi procesele geomorfologice /158
8.4. Morfologia profilului longitudinal/162
8.4.1. Modelarea matematică a profilului longitudinal/164
8.4.2. Factorul de formă şi eficienţa hidraulică în dezvoltarea ravenelor/165
8.5. Morfologia şi dinamica vârfurilor de ravenă/172

9. EVOLUŢIA RAVENELOR/183
9.1. Tipuri modele de evoluţie a ravenelor/ 184
9.1.1. Asupra conceptului de model/184
9.1.2. Modele calitative de evoluţie a ravenelor/186
9.1.3. Modele cantitative de evoluţie a ravenelor/ 194
9.1.3.1. Modelul lui Graf sau legea exponenţială a evoluţiei/195
9.1.3.2. Clasa modelelor statistice/200
9.1.3.3. Modele deterministice/214
9.1.3.4. Modele dinamice/223
9.2. Ecuaţii de regresie multiplă pentru determinarea ratei de creştere a ravenelor pentru Podişul Moldovei/230
9.3. Timpul de avansare a ravenelor/236

BIBLIOGRAFIE/ 241
ANEXA/253
SUMMARY/261

BCU CLUJ UNIVERSITY LIBRARY

CONTENT

1. ARGUMENT/11

2. TERMINOLOGY/19

3. GULLY CLASSIFICATION/25

4. CONCEPTS/35

4.1. Concept of geomorphological threshold/35
4.2. Concept of allometrical growth/38
4.3. The rate law in geomorphology/40

5. METHODS OF GULLY RESEARCH/44

5.1. Field methods and gully inventory techniques/44
5.2. Laboratory methods/47
5.3. Data processing/49

6. CAUSES OF GULLY INITIATING/51

6.1. Climate/54
6.2. Landscape/59
6.3. Geology and soils/62
6.4. Anthropical causes/63
6.5. Effects of surface runoff/65
6.6. Effects of subsurface runoff/69

7. GULLY DISTRIBUTION/75

7.1. Generals/75
7.2. Areal distribution of gullies by the grid square method/81
7.2.1. Study case: Siret – Prut interfleuve/81
7.2.1.1. Statistical analysis of gully distribution/82
7.2.1.2. Relationships between variables/90
7.2.2. Study case: gully erosion in Lesotho/92

BCU IAȘI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

B.C.U. „M. EMINESCU" IAȘI

8. GULLY GEOMORPHOMETRY/101
8.1. On the allometrical growth of gullies/102
8.2. Effect of the sediment grain size from the gully/108
8.2.1. Areal variability of gully sediments/111
8.2.2.1. *R – mode* factorial analysis/113
8.2.2.2. *Q – mode* factoarial analysis/114
8.2.3. Weighted mean percent silt-clay from the gully perimeters/129
8.3. Geomorphological processes in the gully system/130
8.3.1. Sidewall processes/130
8.3.2. Longitudinal transport processes/145
8.3.3. Sidewall processes/longitudinal transport processes/149
8.3.4. Aggradation processes/156
8.3.5. Chemistry of gully sediments/158
8.4. Morpgology of longitudinal profile/162
8.4.1. Mathematical modelling of the longitudinal profile/164
8.4.2. Shape factor and the hydraulics efficiency/165
8.5. Headcut morphology and dynamic/172

9. GULLY EVOLUTION/183

9.1. Types of growth models of gullies/184
9.1.1. On the model concept/184
9.1.2. Qualitative models/186
9.1.3. Quantitative models/194
9.1.3.1. Graf's model or the rate law/195
9.1.3.2. Statistical models/200
9.1.3.3. Deterministical models/214
9.1.3.4. Dynamic models/223

9.2. The multiple regression model to estimate of the advancement rate of gully heads/230
9.3. Time of the advancement of gullies/236

BIBLIOGRAPHY/241
ANEXE/253
SUMMARY/261

BCU IAȘI CENTRU LIBRARY

1 • ARGUMENT

Dintre întrebările justificate pe care le aşteptăm din partea celor interesaţi să răsfoiască această lucrare, probabil, vor fi şi acestea:

De ce ravenele sunt considerate o problemă?
Ce se poate spune despre nişte forme de relief relativ minore?
Se justifică efortul material pentru studiul lor?

Răspunsul nostru este lucrarea în întregime, dar primele pagini se cuvine să le dedicăm argumentelor că intreprinderea noastră şi-a meritat efortul.

Este adevărat, ravenele sunt forme de relief minore. În schimb, eroziunea în ravene reprezintă unul dintre cele mai spectaculare procese de degradare a terenurilor. Prezenţa şi dezvoltarea formaţiunilor de eroziune în adâncime creează serioase probleme economiei unei regiuni. Prin rata lor mare de expansiune, ravenele afectează terenuri agricole întinse, dar ele funcţionează şi ca importante furnizoare de aluviuni în râuri şi lacuri de acumulare. Severitatea eroziunii în ravene într-un bazin hidrografic este adesea cuantificată ca procent din suprafaţa totală sau ca densitate pe km^2.

Primele comentarii şi evaluări asupra ravenelor şi proceselor de ravenaţie provin din investigaţiile amenajiştilor şi conservaţioniştilor, cei care au arătat că ravenele sunt o *problemă* în domeniul ştiinţelor lor. Într-un excelent raport FAO, Heede (1976), recunoscut drept o autoritate în domeniul conservării terenurilor degradate prin ravene, prezintă o abordare istorică a modului cum au fost privite aceste forme de relief. Motivaţia intervenţiei poate constitui un argument sugestiv pentru ceea ce ne-am propus noi înşine în această lucrare.

În multe regiuni deşertice şi semideşertice omul primitiv nu numai că a învăţat să trăiască cu ravenele, dar le-a utilizat pentru colectarea apei şi producerea de hrană. Asemenea agricultură de deşert a fost practicată în Africa de Nord, Siria, Transiordania, sudul Arabiei, în America de Nord şi cea de Sud. Astfel, multe regiuni din lume au fost locuite de o populaţie mai numeroasă

decât astăzi. De exemplu, regiunile aride ale Mexicului (precum Sierra Madre) sau Deşertul Negev au avut, în urmă cu 1000 de ani, o densitate a populaţiei însemnată comparativ cu cea de astăzi.

Controlul eroziunii în ravene în aceste vechi teritorii nu avea un scop în sine, ci un mijloc de producere a hranei. În Deşertul Negev din Israel au fost găsite terenuri cu facilităţi de irigare, datând din Epoca Fierului, cu 3000 ani în urmă. Climatul, fără îndoială, nu era mult deosebit de cel de astăzi şi se caracterizează printr-o cantitate medie de precipitaţii de 95 mm, din care cea mai mare parte cade sub formă de averse. Precipitaţiile mai mari de 10 mm cad numai 2 zile pe an. Astfel că micile văi ale ravenelor, *wadi* sau microdepresiuni pe versanţi au fost utilizate pentru a stoca apă în spatele unor lucrări transversale de dimensiuni reduse.

Cu cel puţin 900 ani în urmă aborigenii din Munţii Sierra Madre, Mexic, au dezvoltat un sistem intensiv de modificare a condiţiilor de mediu cu ajutorul unor baraje de rocă construite în mici văi, ravene, astfel că prin acumularea sedimentelor în spatele lor se puteau crea terenuri pentru cultură. După anul 1450 această agricultură înfloritoare a dispărut.

Odată cu industrializarea, omul şi-a pierdut din dependenţa sa strânsă de pământ. Densitatea populaţiei a crescut, terenurile au fost îngrădite, iar sistemele de drumuri şi comunicaţii s-au înmulţit. Această schimbare în structura societăţii umane a cauzat un alt punct de vedere asupra ravenelor. Acestea au fost văzute acum ca distrugând vieţi şi proprietăţi, ca bariere pentru comunicaţii rapide, ca furnizoare de sedimente în albii şi lacuri, într-un cuvânt, nişte forme de relief care trebuie "prevenite şi combătute". Nu este surprinzător, deci, că primul text asupra ravenelor sau torenţilor a fost publicat în Franţa în 1860 şi care avea în atenţie, în special, probleme de control al acestor formaţiuni. Alte apariţii editoriale au urmat în Austria, Italia, Germania şi mai târziu în Japonia. Cunoaşterea ştiinţifică asupra ravenelor a început, aşadar, în urmă cu 100 de ani prin accentul pus pe măsurile de prevenire şi control ale proceselor de ravenaţie.

Necesitatea îmbunătăţirii măsurilor şi normelor de intervenţie în prevenirea şi controlul degradării terenurilor a permis intensificarea cercetărilor din diverse puncte de vedere (geologic, hidrologic, agronomic, silvic etc), conturându-se în prezent o bază importantă de cunoaştere a eroziunii prin ravenaţie. Punctul de vedere geomorfologic în legătură cu subiectul menţionat este explorat de autorii prezentei lucrări, după ce în prealabil s-a realizat una dintre cele mai importante baze de date proprii asupra ravenelor din Podişul Moldovei şi din munţii flişului.

Faptul că ravenele sunt o *problemă* rezultă din câteva date despre răspândirea lor, raportate, mai ales, pentru regiuni aride şi semiaride. Astfel, în partea de sud a Israelului se dezvoltă în medie cel puţin o ravenă pe km^2 (Seginer, 1966), iar în Tadjikistan numărul lor poate fi de 10 -15 ravene/km^2, cu o adâncime medie de 15 m, o lăţime de 50 - 60 m şi o lungime de 3 - 4 km (Ahmadov, 1977). În Lesotho, cea mai mare parte din eroziunea în ravene s-a produs în acest secol. După estimările făcute de Wenner (1989), între 20 000 şi 30 000 de ravene mari ocupă 4% din terenul arabil.

Cele mai spectaculoase fenomene de ravenaţie s-au înregistrat în India şi în Platoul de Loess al Chinei. În India ravenele afectează 1% din suprafaţa

totală, 43% dintre acestea având dimensiuni mai mari de 5 m și o rată de expansiune de 1,75 ha/an pentru fiecare 1000 ha de terenuri ravenate (Haigh, 1984). Platoul de Loess al Chinei ocupă 430 000 km², din care 237 000 km² sunt versanți adânc fragmentați. Aici ravenele au o densitate de 4,5 km/km² și înregistrează o rată de expansiune de 2 - 3 m/an (Haugxiong, 1989). Ravenația a fost semnalată ca fenomen cu mare extindere în sud vestul SUA (Brice, 1966; Heede, 1967, 1970, 1974; Schumm, Hadley, 1957; Schumm et al., 1984 etc.), în Noua Zeelandă și Australia (Blong, 1970; 1985), în stepele rusești (Kalinicenko, Ilinski,1976), în ținuturile mediteraneene, în Africa de Sud (Nordstrom,1988), dar și în ținuturile mai umede, cum ar fi Scoția, nord-vestul Angliei (Harvey,1992) sau în Belgia (Poesen, Govers, 1990; Vandaele et al., 1996). Se pot da ca exemple ravene în zone montane (ex. în Valea Vinderelu din Munții Maramureșului) sau ravene de câțiva metri și cu maluri aproximativ verticale, formate în numai 6 - 7 ani în cenușa vulcanică depusă în timpul unei singure erupții; de asemenea, ravene dezvoltate în domeniul litoral, descrise de Twidale (1996). Același autor arată că vârsta depozitelor nu este relevantă pentru dezvoltarea ravenelor; în foto 1.1 este prezentată, de exemplu, o ravenă adâncită în roci permiene.

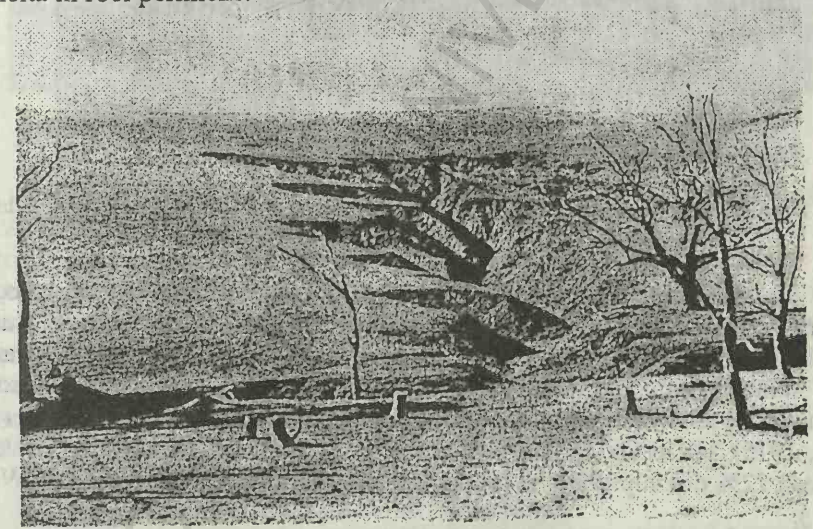


Foto1.1. Ravene dezvoltate în depozite de nisipuri și argile permiene de origine glaciară, pe terenuri defrișate în sudul Australiei (Twidale 1996, cit. Hurjui, 1998).

Forme de relief asemănătoare ravenelor se dezvoltă la golirea rapidă a unor lacuri de baraj puternic colmatate. În urma golirii lacurilor Pușcași (1989) sau Cuibul Vulturilor (1996) s-au format rețele de canale a căror adâncime, în apropierea vanelor de fund, era similară cu grosimea sedimentelor (Hurjui, 1998). La lacul Izvoru Muntelui astfel de forme iau naștere în fiecare an pe versanții emerși. În urma coborârii nivelului apei din lac, în sedimentele stocate, se formează, la început, o rețea de rigole, iar dacă perioada de nivel scăzut se prelungește, unele dintre acestea evoluează rapid, atingând stadii și forme asemănătoare ravenelor (foto 1.2).

În România, numai în zona dintre Siret şi Prut, au fost inventariate peste 9000 de ravene (foto 1.3), cu rate medii de expansiune de 1 - 1,5 m/an (Rădoane et al., 1995); s-au făcut măsurători asupra ratei de dezvoltare în suprafaţă pe ravene eşantion în aria Staţiunii de Cercetare a Eroziunii Solului Perieni (Moţoc et al., 1979; Ioniţă, 1998; Hurjui, 1998), în regiunea dealurilor şi podişurilor de la exteriorul Carpaţilor (Bălteanu, Taloescu, 1978), ori în zone despădurite din munţii flişului (Rădoane, 1980, 1988).

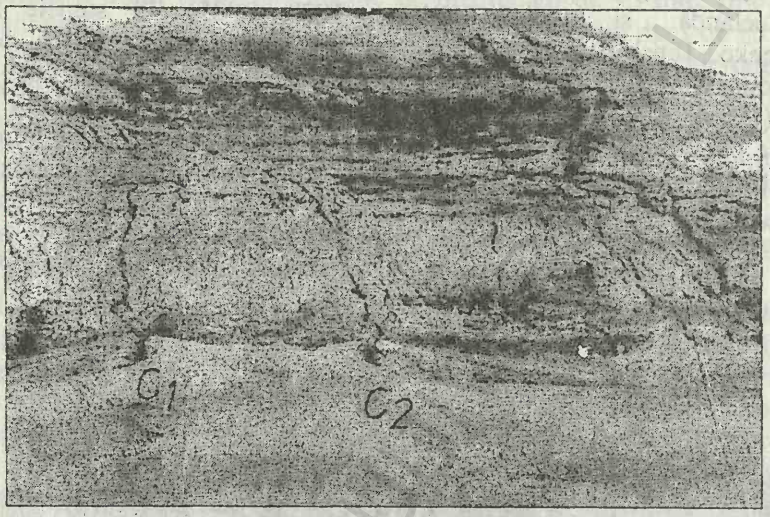


Foto 1.2. Iniţierea de ravene în sedimentele de pe malul lacului Izvoru Muntelui (foto I.Ichim). *C*1 şi *C*2 sunt conuri miniaturale la baza fâşiei de ţărm.

Ravenele sunt importante surse de aluviuni. De exemplu, Rio Puerco, deşi cuprinde numai 20% din bazinul Rio Grande amonte de lacul Elephant Butte şi produce numai 8% din curgerea lichidă, evacuează 50% din sedimentele care au ajuns în lac (Patton, 1973). În Nebraska, ravenele contribuie cu 20% din totalul producţiei de aluviuni pentru bazine unde eroziunea în ravene este severă (Piest et al., 1975), iar în Oklahoma, într-un bazin hidrografic de 0,599 ha, ravenele deţineau 22% din suprafaţă şi produceau 96% din aluviunile evacuate (Welch, 1986).

Într-un studiu realizat de Moţoc (1984) pentru întreg teritoriul României se apreciază că 31% din aluviunile ce ajung în reţeaua hidrografică provin din eroziunea în adâncime (rigole, ravene, torenţi). În valori absolute, cantitatea de aluviuni datorată acestor procese este de 13,8 milioane tone dintr-un total de 44,6 milioane tone transportate de râurile României.

Larga răspândire a ravenelor în cele mai variate condiţii de pe glob şi multiplele probleme pe care le pun explică, într-o oarecare măsură, punctele de vedere diferite din care sunt abordate, şi anume: ale hidraulicii, ale ingineriei agricole şi silvice, ale ingineriei drumurilor, hidrologiei şi geomorfologiei. Deşi este evidentă, mai ales în ultimii 20 - 30 ani, o asemenea concentrare de forţe, multe aspecte de cauzalitate şi morfologie au rămas insuficient cunoscute, iar asupra altora, cum ar fi definirea şi tipologia ravenelor există o diversitate descurajantă de opinii. Unii autori (Schumm et al., 1984) apreciază că, în raport

cu amploarea și răspândirea fenomenului de ravenare, ne aflăm încă în fața unei penurii de date, ceea ce ar constitui un motiv al insuficienței cunoașterii proceselor de formare și dezvoltare a ravenelor. Evident că situația se reflectă și la nivelul alegerii soluțiilor de amenajare și control a eroziunii.

Foto 1.3. Ravena Coada Gâștii, zona Hârlău (foto N. Rădoane).

În concluzie, nu putem decât să fim de acord cu opinia lui Heede(1974), că: „Atâta timp cât ravenele pot fi descrise cantitativ în termenii stadiului lor de dezvoltare, există șansa ca decizia privind amenajarea și controlul lor să fie îmbunătățite" (Heede (1974, p. 261). Și mai departe, „inginerii amenajiști ai apelor și terenurilor vor avea la îndemână un instrument folositor, dacă stadiul în care se află ravenele poate fi exprimat în termenii ratelor de eroziune și producțiilor de aluviuni" (p. 271). În fapt, recunoașterea stadiilor erozionale și depoziționale ale evoluției formelor de relief este baza geomorfologiei și, pentru mulți ani, va fi preocuparea de bază a geomorfologilor.

Cât de minore sunt ravenele ca forme de relief?

Clasificarea propusă de Ahnert (1988) oferă o bază de apreciere a poziției ocupate de ravene în contextul marii varietăți a formelor de relief. Această clasificare se bazează pe „aranjamentul" ierarhic al spațiului și timpului, exprimat grafic în fig. 1.1.

Pe abcisă este redat timpul, de la câteva minute (de exemplu, vârsta unor cratere provocate de impactul picăturilor de ploaie), la peste 10^{10} ani (de exemplu, vârsta lanțurilor muntoase sau a plăcilor continentale). Pe ordonată, sunt redate dimensiunile aproximative ale formelor de relief, pe baza acestora fiind ordonate formele de relief astfel:

- *picorelieful* (cratere de impact ale picăturilor de ploaie, striații glaciare etc.) cu dimensiuni < 10^{-5} km;
- *nanorelieful,* în care se cuprind lapiezurile, rigolele de eroziune, tafonii, având dimensiuni sub 10^{-3} km;

- *microrelieful* se referă la o categorie dimensională superioară de forme de relief, cum ar fi: ravenele, dolinele, penele de gheață, dunele, terasele. Sunt forme de relief extrem de dinamice (vârsta între un an și câteva sute de ani), iar dimensiunea între 10^{-1} și 10^{-3} km;

- *mezorelieful*, în care se grupează formele de relief cu dimensiuni între 10^{1} - 10^{-1} km și vârste de peste 10^{3} ani, cum ar fi văile, interfluviile, morenele, abrupturile de cuestă etc;

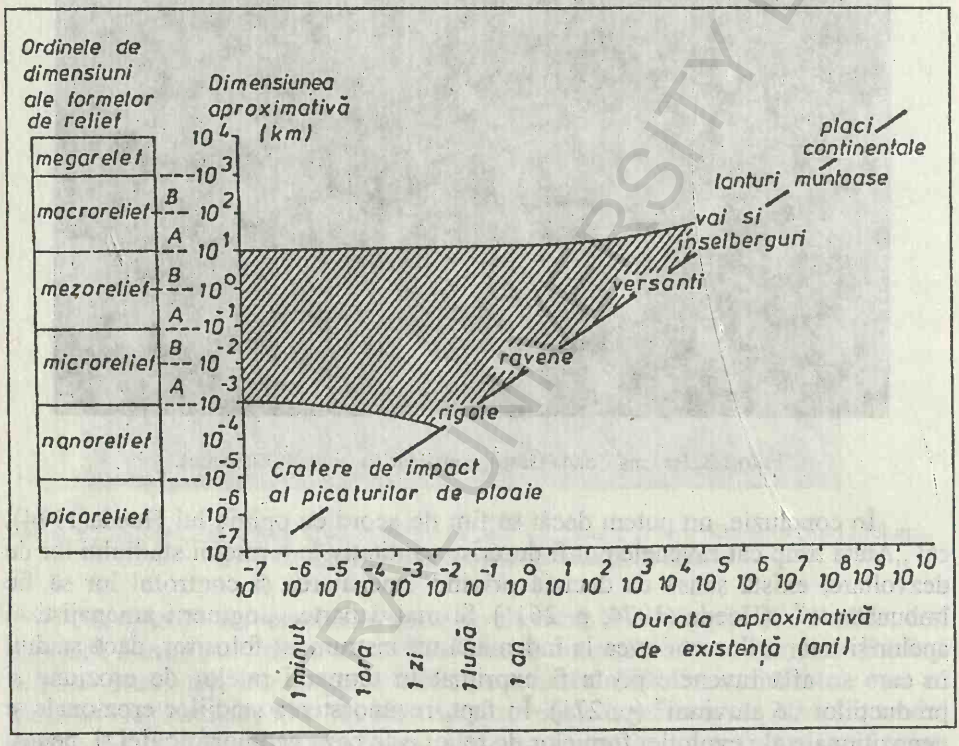


Fig.1.1. Estimarea relației între dimensiunea si durata de existență a obiectelor geomorfologice (Ahnert, 1988).

- *macrorelieful*, cu dimensiuni între 10^{3} - 10^{1} km, iar ca vârstă peste 10^{7} ani, caracterizează sistemele montane, cum ar fi Carpații sau Alpii, rifturile, grabenele etc;

- *megarelieful*, ultima categorie, cu dimensiuni de peste 10^{3} km și vârste peste 10^{9} ani se referă la forme de relief de tipul plăcilor continentale.

Am insistat pe această clasificare, pentru a arăta de la început poziția ocupată de ravene într-un posibil nomenclator al formelor de relief ca cel propus de geomorfologii germani. Putem constata, astfel, că ravenele fac parte din categoria de relief cu un larg interes din partea geomorfologilor, întrucât ele pot fi abordate, pe baze experimentale în teren, atât ca formă, dar mai ales ca dinamică. Este vorba de relieful cuprins între dimensiunile de 10^{-1} și 10^{-2} km și o durată de existență de la un an până la mai multe zeci de ani. În figura 1.1 este evidențiată prin haşurare această zonă de interes a geomorfologilor (microrelieful și mezorelieful) în care se includ și revenele.

Ce se mai poate spune despre ravene? Este necesar să ne ocupăm de ele?

Considerăm că geomorfologia este datoare să exploreze cu cele mai recente metode și concepte această categorie de microrelief, întrucât, am constatat, se află cu mult în urma științelor inginerești în cunoașterea domeniului ravenelor. Astfel, se impune realizarea unei lucrări de tip monografic asupra unui fenomen cvasiprezent în mediul fizico – geografic cu următoarea desfășurare de obiective:

- Definirea ravenelor și criteriile de clasificare ca instrumente de recunoaștere în teren.
- Dezvoltarea bazei conceptuale și a metodologiei de investigare a ravenelor.
- Analiza unor factori regionali în distribuția ravenelor.
- Investigarea, prin cazuri studiu, a geomorfometriei ravenelor.
- Analiza proceselor geomorfologice într-un sistem de ravene.
- Modele de prognoză a evoluției ravenelor.
- Stadiile de evoluție ale ravenelor.

Rezultatele prezentate în această lucrare se bazează, în cea mai mare parte, pe cercetările noastre de teren în campanii lungi de inventariere a formațiunilor de eroziune în adâncime în aria Podișului Moldovei, a munților flișului, de alegere a zonelor eșantion în care am realizat cercetări detaliate (ridicări topometrice întrucât au lipsit materialele cartografice la scară rezonabilă pentru studiul microformelor de relief, cartografieri geomorfologice, pichetări de profile, recoltări probe de depozite din perimetrul ravenei etc); toate acestea s-au desfășurat pe o perioadă de timp cuprinsă în intervalul dintre 1986 – 1998.

Echipa noastră de cercetare este recunoscătoare pentru sprijinul financiar, în cadrul unor contracte de cercetare oferite de Institutul de Studii și Proiectări pentru Imbunătățiri Funciare, Ministerul Cercetării și Tehnologiei, Academia Română, Centrul de Cercetări "Stejarul" fără de care nu ar fi fost posibile realizarea atâtor deplasări în teren cu implicarea unei echipe numeroase, multă logistică, dar și ducerea la bun sfârșit, credem noi, a unei lungi intreprinderi. Sincere mulțumiri și profundă recunoștință domnilor tehnicieni Vasile Frunzete și Dan Pipirigeanu, care au fost nelipsiți de la cele mai dificile momente ale realizării bazei de date asupra ravenelor din Podișul Moldovei și din Carpații flișului. De asemenea, domnului profesor Constatin Grasu, toată gratitudinea pentru modelul de profesionalism ce l-am avut permanent lângă noi, colegilor Dan Dumitriu și Crina Miclăuș, un gând luminos pentru contribuția la perpetuarea unei stări de spirit creatoare în grupul nostru de cercetare.

BCU IASI - BIBLIOTECA CENTRALA UNIVERSITARA

2. TERMINOLOGIE

Baza discuțiilor într-o abordare de mai largă cuprindere este definirea termenilor utilizați, analiza lor într-un context mai general, legătura cu alte puncte de vedere pentru a preîntâmpina orice sursă de confuzie și neînțelegere. Se pare că o asemenea confuzie a fost remarcată în literatura de specialitate, în legătură cu definirea termenului de *ravenă*. Aproape fiecare autor care s-a ocupat de cercetarea ravenelor s-a simțit obligat să ofere și o definiție, de obicei, însoțită de multe calificative și indicații, din dorința de a-i da consistență. Din păcate, acest deziderat nu a fost atins.

Iată câteva din aceste definiții. În glosarul Institutului Geologic American (1972) definiția este următoarea:

„O vale foarte mică asemenea unui șanț pe fața unui abrupt sau un canal lung și îngust, adâncit în materiale neconsolidate și prin care apa curge numai la ploaie și la topirea zăpezii. Este atât de adânc încât nu poate fi traversat de un autovehicul sau să fie eliminat prin lucrări agricole" (p. 318).

Societatea de Conservare a Solului din America (1982) a dat următoarea definiție (cit. Poesen și Govers, 1990):

„O albie sau o vale miniaturală secționată de scurgerea concentrată, dar prin care apa curge, de obicei, în timpul și imediat după precipitații sau topirea zăpezii; poate fi dendritică sau rămuroasă sau poate fi liniară, mai mult lungă, îngustă și de lățime uniformă. Distincția între ravenă (*gully*) și rigolă (*rill*) se face pe baza adâncimii. O ravenă este suficient de adâncă încât să nu fie astupată de lucrările agricole obișnuite, în timp ce rigola este mai puțin adâncă și poate fi astupată de lucrările agricole obișnuite"(p. 513).

O definiție mai elaborată și în termeni mai concreți este dată de Gregory și Walling (1973), și anume:

„Caracteristicile generale ale ravenelor sunt următoarele: au scurgere efemeră, sunt adâncite în materiale neconsolidate și au o secțiune transversală în formă de V, când materialul (solul) este fin texturat și rezistent la adâncire rapidă și în formă de U, când materialul (solul) este de tip loessoid și cu aceeași susceptibilitate la eroziune pe tot profilul de sol. Ca dimensiuni, ele sunt mai mari decât rigolele (*rill*), sunt mărginite de maluri abrupte și vârfuri care, adesea, au un prag erozional și sunt atât de adânci încât nu pot fi traversate de un autovehicul sau astupate de lucrări agricole obișnuite"(p. 369 - 370).

Definiția dată de *Dicționarul geomorfologic* (Băcăuanu et al., 1974) se caracterizează, de asemnea, prin numeroși termeni calificativi:

"Formă de relief cu aspect de șanț, care ia naștere pe suprafețele înclinate, formate din roci friabile, în urma scurgerii torențiale. Convențional, se consideră că ravena prezintă adâncimi de la 2 - 3 m până la câteva zeci de metri. Cei mai mulți dintre specialiști definesc ravena ca pe o formă de eroziune torențială, mai avansată decât ogașul, caracterizată printr-un talveg în care apar mici trepte, repezișuri sau marmite. În interiorul său eroziunea conformă este înlocuită, în mare măsură, de cea regresivă" (p. 147).

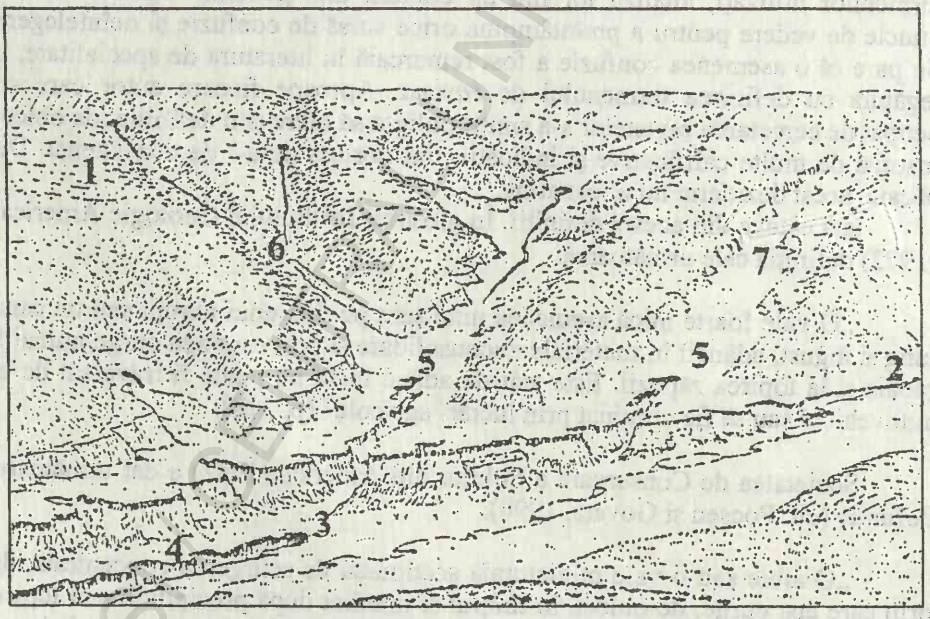


Fig. 2.1. Schiță compusă, bazată pe observații de teren și fotografii, ilustrând diferite varietăți de ravene de fund de vale. Ravenele discontinui (*1*) se formează în văile afluente. Ele se vor contopi când vârful le atinge în punctul 6. În această vale există două praguri ("nickpoints") (*2, 3*). Adâncirea fundului văii duce la apariția teraselor (*4, 5*). Ravenele tributare erodează aluviunile care colmatează văile tributare (*7*) și ele vor fi eventual integrate în rețeaua de drenaj (C. J. Brice, 1966 din S.A. Schumm et al., 1985).

Varietatea denumirilor pentru această formă de relief, în diferite zone ale Terrei este un alt argument în sprijinul dificultăților semnalate mai sus. Astfel,

formațiunile în discuție sunt denumite *gully* (în engleză); în SUA se mai utilizează și *arroyo*, *wash* sau *coulee*, ultimul termen fiind folosit pentru ravene foarte mari. În Rusia se folosește termenul de *uvrag*, în Italia cel de *burone* ori *fosco*, în Franța *ravin*. În Africa de Nord este obișnuit termenul de *wadi*, iar în Africa de Sud cel de *donga*, în Madagascar, *lavaka*, în timp ce în India el este *nullah*. În românește termenul de *ravenă* provine din francezul *ravin*, care îl înlocuiește pe autohtonul *râpă*.

Faptul că într-o definiție sunt necesare atât de multe calificative reprezintă, după Schumm et al.(1984), o dovadă a lipsei de consistență a definiției respective, iar unii autori pun această situație, în parte, pe seama preluării termenului din uzajul obișnuit anglofon. Nota comună a tuturor definițiilor este aceea că o ravenă este o formă de relief instabilă, dinamică și integrată unui bazin hidrografic în plină transformare. Imaginile preluate din Brice (1966) sunt edificatoare pentru definirea ravenelor (figurile 2.1, 2.2).

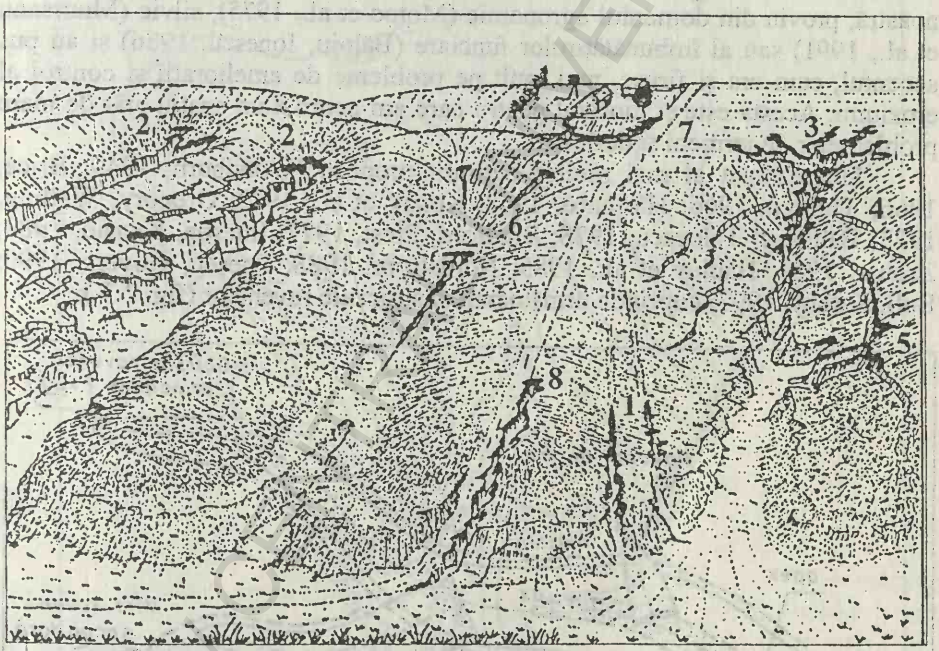


Fig. 2.2. Imagine compusă, bazată pe schițe din teren și fotografii, arătând diferite varietăți de ravene de fund de vale și de versant. Ravenele discontinue sunt prezente (*6*), dar ele nu sunt adâncite în aluviuni. Ravenele de obârșie sunt fie lobate (*2, 6*), dendritice (*3*) sau ascuțite (*1, 3*). Ravenele de versant pot fi lobate (*6*), dendritice (*5*) sau drepte și bine definite din cauză că ele urmăresc drumuri (*8*) și cărări (*1*) (C. J. Brice, 1966 din S.A. Schumm et al., 1985).

După Băloiu (1975), în limbajul uzual ravena este uneori denumită impropriu „râpă", pentru că aceasta este o formațiune deosebită, rezultată în urma surpărilor, alunecărilor și eroziunii accelerate, care se prezintă ca o ruptură cu un singur taluz, situată pe malurile rețelei hidrografice vechi, pe malurile ravenelor adânci sau pe versant (izolată de rețea). Or, ravena, după cum am văzut, este cu mult mai complexă decât o simplă râpă.

O altă deosebire, care trebuie avută în vedere, este aceea între *ravenă* și *torent*. Conform lui Aulitzki (1981), torentul are un bazin hidrografic bine delimitat, sub 100 km², o pantă foarte abruptă a profilului longitudinal și transportă mari cantități de material târât, uneori de nivel catastrofal, pe care le depune într-un con; poate avea curs temporar sau permanent și, de regulă, se formează pe pantele abrupte ale munților.

Într-o lucrare distinctă, Heede (1980) se ocupă, în mod special, de analiza similarităților și diferențierilor ravenelor și torenților. El arată că cea mai importantă diferență între ravene și torenți este dată de *natura substratului* disecat: ravenele sunt un rezultat al secționării depozitelor necoezive, iar torenții sunt un rezultat al secționării rocii dure. La această din urmă opinie ne raliem și noi, cu mențiunea că lucrarea noastră nu se ocupă de fenomenul de torent în sensul dat mai sus. Oricum, se impune o serie de investigații profunde și asupra acestui din urmă proces pentru a elimina numeroasele confuzii care se fac în domeniul terminologiei. Sintezele realizate până acum, cel puțin în literatura noastră, provin din domeniul agronomic (Moțoc et al., 1975), silvic (Munteanu et al., 1991) sau al îmbunătățirolor funciare (Băloiu, Ionescu, 1986) și au pus accentul, cum era și firesc, mai mult pe probleme de ameliorații și control al eroziunii. Acesta este și motivul pentru care am acordat un spațiu atât de mare problemelor de termeni și definiții.

Un rezumat al mai multor definiții propuse (Woodburn, 1949; Brice, 1966; Tufescu, 1966; Hârjoabă, 1968; Kosov et al., 1972; Gregory, Walling, 1973; Bălteanu, Taloescu, 1978; Bradford, Piest, 1977; Imeson, Kwaad, 1980; Zachar, 1982; Hadley et al., 1985; Nordstrom, 1988; Poesen, Govers, 1990; Bull, Kirkby, 1997) cuprinde următoarele însușiri ale ravenelor (fig. 2.3):

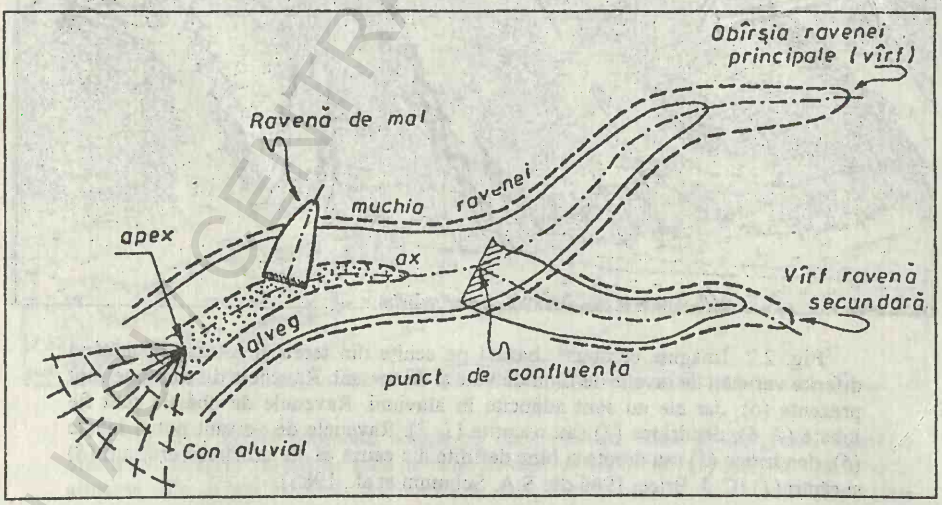


Fig.2.3. Schiță de definire a unei ravene (adaptată după Seginer, 1966).

- un canal cu maluri povârnite, adesea, cu un abrupt în punctul de obârșie;
- scurgere efemeră;
- prezintă numeroase praguri în talveg;

- se manifestă o extindere rapidă în zona de obârşie;
- secţiunile transversale sunt în formă de V, când depozitele neconsolidate sunt relativ rezistente la adâncire şi în formă de U, când depozitele sunt mai erodabile;
- nu pot fi îndepărtate prin lucrări agricole obişnuite.

În schiţa de definire a unei ravene (fig. 2.3) sunt specificate elementele componente ale acesteia, astfel:

- *vârful* sau *obârşia ravenei* care, de cele mai multe ori se prezintă sub forma unui abrupt numit *râpă de obârşie* (*headcut*), cu adâncimi ce pot depăşi 20 m în terenuri de loess. Vârful este considerat zona critică a ravenei, prezentând rata maximă de dezvoltare în lungime, adâncime şi lăţime datorită accesului apei de pe suprafaţa de recepţie în ravenă prin acest vârf. La o ravenă, de regulă, se disting mai multe vârfuri, vârful principal fiind considerat cel care primeşte cel mai mare debit;

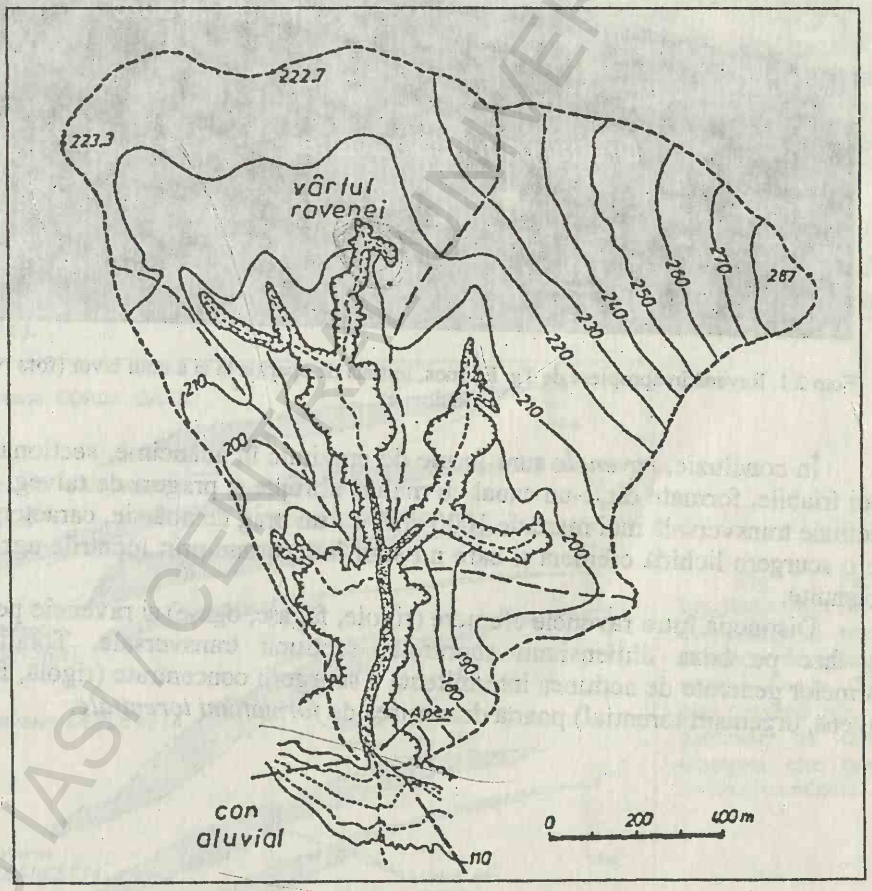


Fig.2.4. Plan de situaţie a unei ravene.

- *conul aluvial* reprezintă o zonă de depuneri situată, de regulă, la ieşirea din ravenă; în majoritatea cazurilor, începutul acestei zone coincide cu gura ravenei şi cota terenului în acest punct.

- *apexul conului* reprezintă nivelul de bază al ravenei.

Elementele ce definesc o ravenă pot fi recunoscute pe un plan topografic ca acela dat în figura 2.4, în care este ilustrată o ravenă din zona Copăcești (pe versantul drept al Trotușului), adâncită în luturi nisipoase pliocene. Ravena exemplificată are un bazin de recepție, respectiv, aria care înclină gravitațional, în special, spre vârful ravenei. De foarte multe ori însă nu se poate delimita un bazin de recepție, mai ales în cazul ravenelor discontinue.

Foto 2.1. Ravenă în apropiere de Tg. Frumos, inițiată de apariția la zi a unui izvor (foto N. Rădoane).

În concluzie, *ravenele* sunt forme de eroziune în adâncime, secționate în roci friabile, formate dintr-un canal cu maluri abrupte și praguri de talveg, cu o secțiune transversală mai mare de 1000 cm², cu un prag de obârșie, caracterizate de o scurgere lichidă efemeră și care nu sunt îndepărtate prin lucrările agricole obișnuite.

Distincția între ravenele efemere (rigole, făgașe, ogașe) și ravenele perene se face pe baza dimensiunii suprafeței secțiunii transversale. Totalitatea formelor generate de acțiunea intermitentă a scurgerii concentrate (rigolă, făgaș, ravenă, organism torențial) poartă denumirea de *formațiuni torențiale*.

3. CLASIFICAREA RAVENELOR

Au fost făcute mai multe încercări de clasificare a ravenelor, bazate pe configurație, forma secțiunii tranversale, localizare în landșaft ș.a. Din păcate, nici o clasificare nu a fost acceptată ca „universală", ceea ce nu este surprinzător, întrucât tipurile de ravene variază cu mediul și o formă sau un proces descrise pentru o zonă nu se pot aplica la altă zonă.

Criteriile de clasificare utilizate până acum sunt următoarele:

a) criteriul *formei profilului longitudinal* a fost utilizat de către Leopold și Miller (1956), preluată și argumentată de Heede (1975), Bălteanu, Taloescu, (1978).

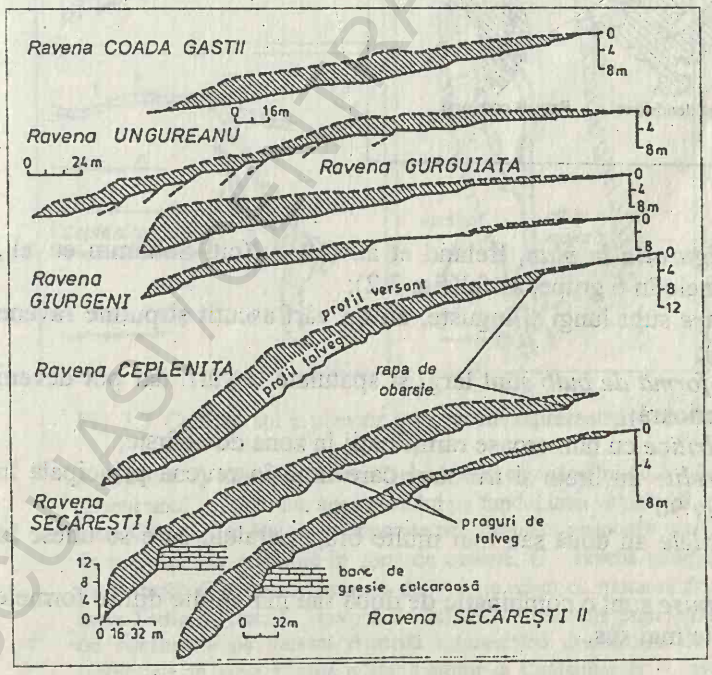


Fig. 3.1. Profile longitudinale de ravene discontinue și ravene continue: de exemplu, ravena Coada Gâștii este ravenă de tip continuu, iar ravena Giurgeni este ravenă de tip discontinuu.

BCU IAȘI CENTRALA UNIVERSITY LIBRARY

Astfel, ravenele se împart în continue și discontinue (fig. 3.1).

Ravenele continue își încep cursul prin numeroase rigole și ogașe care se ramifică în zona de obârșie. Ele câștigă rapid în adâncime în direcția avale și își mențin aproximativ aceeași adâncime pe toată lungimea ravenei. Ravenele continue aproape întotdeauna formează sisteme (rețele de ravene). Ele apar în diferite regiuni climatice, dar sunt predominante în regiunile aride și semiaride.

Ravenele discontinue își încep cursul printr-un prag de obârșie în orice punct al profilului de versant, iar adâncimea lor descrește de la vârf la gura ravenei. Ravena discontinuă se transformă în ravenă continuă prin migrarea pragului de obârșie, spre partea superioară a versantului și prin adâncirea în partea inferioară. Ea poate atinge ravena principală și să devină continuă. Mai multe ravene discontinue de pe un versant pot fuziona pentru a forma o ravenă continuă, dacă roca *in situ* nu limitează acest proces.

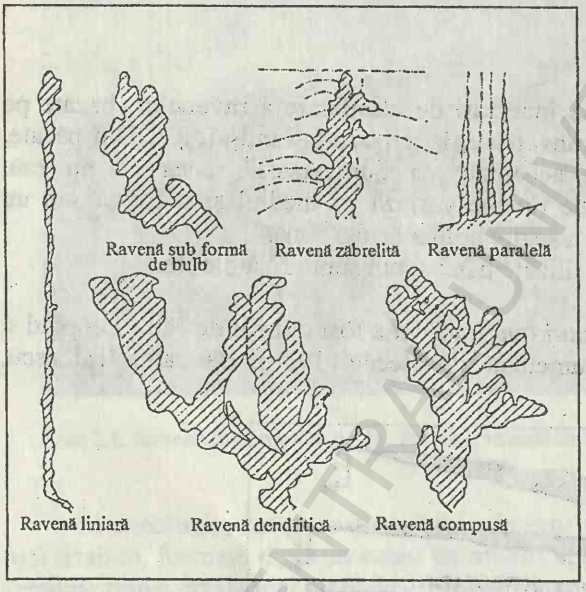


Fig. 3.2. Tipologia ravenelor după configurația în plan (Schumm et al., 1984).

b) după *configurația în plan*, Ireland et al. (1939) (cit. Schumm et al., 1984) clasifică ravenele în 6 grupe, astfel(fig. 3.2):

- *ravene liniare* sunt lungi și înguste, au un vârf ascuțit și puține ravene secundare (tributari);
- *ravene sub formă de bulb* sunt largi și spatulate la vârf, dar pot deveni liniare în partea inferioară;
- *ravene dendritice* cu numeroase ramificații în zona de obârșie;
- *ravene zăbrelite* au brațe și tributari care intră în ravena principală în unghi de aproximativ 90^0;
- *ravene paralele* au două sau mai multe brațe paralele care se unesc în ravena principală;
- *ravene compuse* sunt o combinație de două sau mai multe dintre formele de ravene menționate mai sus.

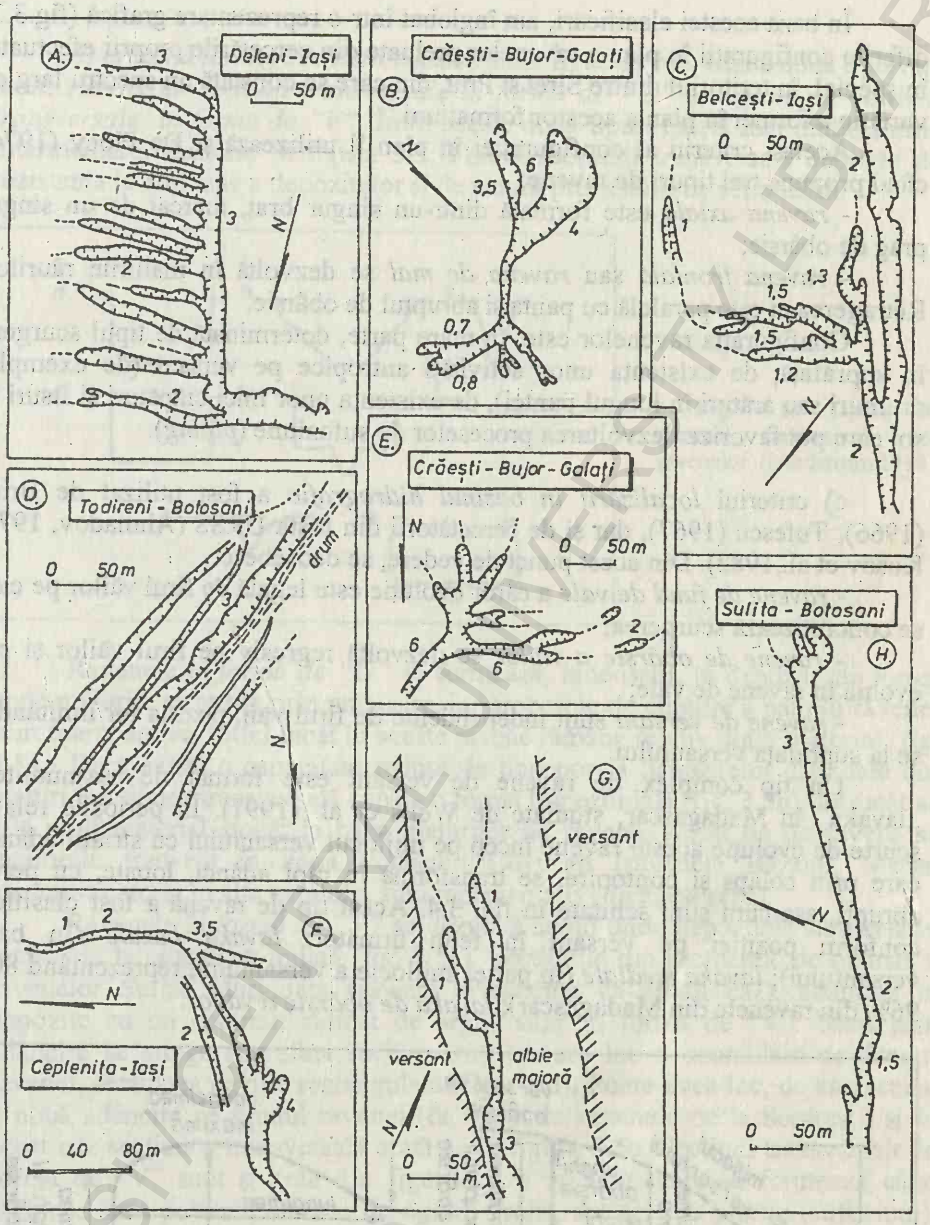


Fig. 3.3. Configurații în plan ale unor ravene reprezentative din Podișul Moldovenesc:

A – ravenă tip zăbrelită în zona Deleni, Iași, cu adâncimi de 2 – 3 m, formată inițial pe traseul unui vechi drum, apoi a evolut pe fundul unei vâlcele; *B* – ravenă tip spatulă în zona Crăești, Tg. Bujor, în depozite predominant nisipoase care au favorizat procese de sufoziune și prăbușire în zona de obârșie; *C* – ravenă compusă (liniară, zăbrelită, dendritică); *D* – ravene paralele dezvoltate odată cu mutarea drumurilor de căruțe în zona Todireni, Iași; *E* – ravenă dendritică, cu multiple puncte de obârșie; *F* – ravene de confluență pe versant datorită intersectării drumurilor de căruțe; *G* - ravenă dezvoltată în albia majoră a Bahluețului la Ceplenița; *H* – ravenă liniară la Sulița, Botoșani.

BCU IAȘI CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

În baza acestei clasificări, am înglobat într-o reprezentare grafică (fig.3.3) diferite configurații în plan a ravenelor preluate din cercetările proprii efectuate, în special, în teritoriul dintre Siret și Prut, din care se constată un spectru larg de variație a formei în plan a acestor formațiuni.

Același criteriu al configurației în plan îl utilizează și De Ploey (1974) când propune trei tipuri de ravene:

- *ravena axială* este formată dintr-un singur braț, marcat de un singur prag de obârșie;
- *ravena frontală* sau *ravena de mal* se dezvoltă în malurile râurilor. Retragerea ei este paralelă cu panta și abruptul de obârșie.

Configurația ravenelor este, în mare parte, determinată de tipul scurgerii în suprafață, de existența unor activități antropice pe versant (de exemplu, drumuri sau arături în lungul pantei), de existența unor mici crăpături și fisuri în sol care pot favoriza dezvoltarea proceselor de sufoziune (*piping*).

c) criteriul *localizării în bazinul hidrografic* a fost utilizat de Brice (1966), Tufescu (1967), dar și de cercetătorii din fosta URSS (Ahmadov, 1979; Kosov et al.,1982). Din acest punct de vedere, se deosebesc:

- *ravene de fund de vale* a căror evoluție este legată de firul văilor pe care se concretizează scurgerea;
- *ravene de obârșie a văilor* se dezvoltă regresiv pe firul văilor și pot evolua în ravene de vale;
- *ravene de versant* sunt independente de firul văii, poziția lor limitându-se la suprafața versantului.

Un tip complex de ravene de versant este format de așa-numitele „lavaka" în Madagascar, studiate de Wells et al. (1991). În perioade relativ scurte de evoluție aceste ravene încep pe mijlocul versantului cu striații adânci, care prin colaps și contopire, se transformă în râpi adânci, lobate, cu pereți abrupți, așa cum sunt schițate în fig. 3.4. Acest tip de ravenă a fost clasificat conform poziției pe versant în felul următor: *lavaka bazale* (în baza versantului); *lavaka mediale* (în partea mijlocie a versantului, reprezentând 80 - 96% din ravenele din Madagascar); *lavaka de obârșie a văilor*.

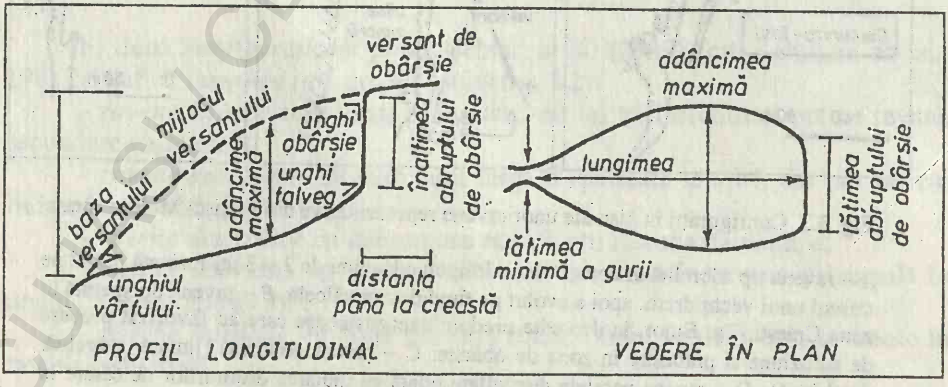


Fig. 3.4. Ravene tip *lavaka* (Madagascar) cu lățime maximă spre obârșie și lățime minimă spre gura ravenei (Wells et al., 1991).

d) criteriul *formei secțiunii transversale.* În acest caz, există două tipuri de bază: *ravene cu secțiuni transversale în formă de "U"* și *ravene cu secțiuni transversale în formă de "V"*. Între aceste două tipuri există mai multe forme intermediare, ilustrate în figura 3.5. Forma secțiunii transversale depinde de rezistența la eroziune a depozitelor și de natura proceselor ce acționează.

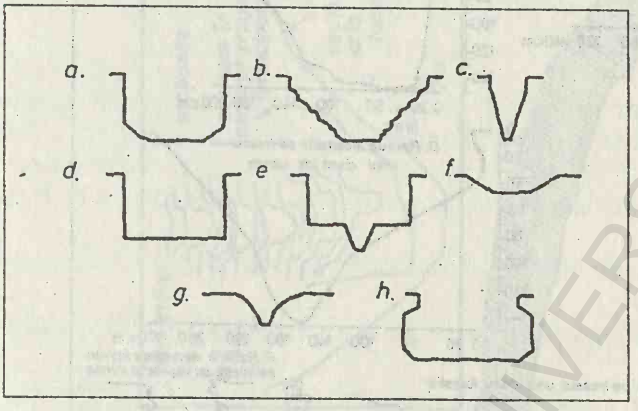


Fig. 3.5. Tipuri de secțiuni transversale ale ravenelor (Nordstrom,1988).

Ravenele *în formă de "U"* se formează, îndeosebi, în depozite de loess, unde malurile se retrag prin prăbușire, iar procesele de curățire a patului ravenei sunt foarte active, astfel încât în aceste ravene rămâne relativ puțin material (fig. 3.5a). Dacă există o capacitate redusă de transport a depozitelor dizlocate din maluri, secțiunea transversală capătă o formă trapezoidală (fig. 3.5b), întrucât se află mult material stocat la baza malurilor de ravenă. Acest tip de ravenă se întâlnește frecvent în zona Podișului Covurlui (ravenele Bâzanu, Meria, exemplificate și în alte capitole, sunt reprezentative în acest sens).

Ravenele *în formă de "V"* se dezvoltă acolo unde depozitele sunt relativ rezistente la eroziunea liniară (fig. 3.5c). Secțiunile din sectoarele de obârșie a ravenelor Sulița, Gurguiata (ravene investigate ca studii caz), adâncite în depozite cu un conținut ridicat de argilă sunt în formă de "V". Dacă prin adâncire se atinge suprafața rocii *in situ* ori are loc o acumulare pe fundul ravenei, secțiunea devine rectangulară (fig. 3.5d). Poate avea loc, de asemenea, o nouă adâncire pe fundul ravenei (de exemplu ravenele de la Secărești) și în acest caz secțiunea transversală arată ca în figura 3.5c. Secțiuni transversale în formă de "V" sunt și cele din figurile 3.5f și 3.5g, care se formează când malurile sunt puternic atacate de ogașe, șiroiri, spălări sau *piping* (sufoziuni). Când orizontul A este mai rezistent decât orizontul B, malurile ravenei formează margini în surplombă (fig. 3.5h).

Preocupări de clasificare a secțiunii transversale a ravenelor a avut și N. Rădoane (1988), utilizând experiența cercetărilor din perimetrul Pângarați. Astfel, în fig. 3.6 sunt exemplificate secțiuni transversale tipice pentru ravene adâncite în depozite de versant pe Strate de Hangu. Caracteristica principală a acestora este că inițierea și evoluția lor a fost favorizată de o serie de activități antropice în domeniul forestier: trasul bușteni lor, tăierea drumurilor forestiere, drumuri de cărute pe pante mari, poteci de picior.

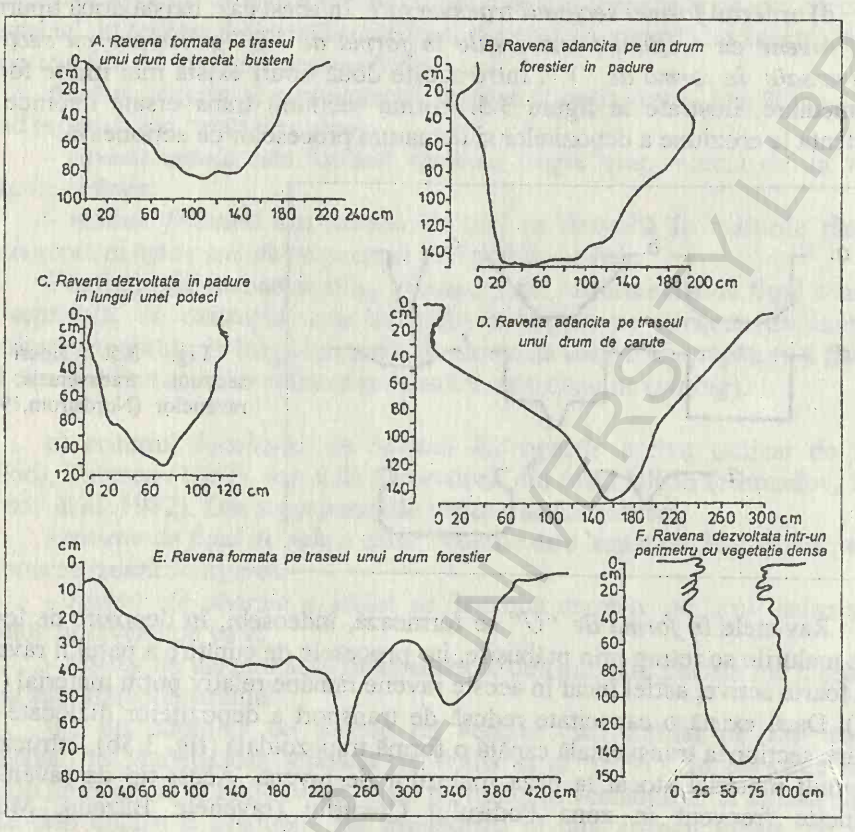


Fig. 3.6. Profile transversale ale ravenelor din perimetrul Pângarați.

Uneori, pentru aceeași ravenă se înregistrează mai multe tipuri de secțiuni transversale, chiar dacă alcătuirea litologică a depozitelor secționate este relativ uniformă, ca în cazul ravenei discontinue Giurgeni dezvoltată în bazinul superior al Bârladului (fig. 3.7). Această ravenă s-a format, inițial, pe seama unei rigole ce însoțea un drum de țarină. În zona de obârșie, profilul este larg evazat, apoi devine în formă de "U" cu fundul plat, care trece treptat în ravenă cu maluri în surplombă, ca în final, spre gura ravenei, profilul secțiunii să devină larg evazat, cu fundul colmatat.

Același criteriu al formei secțiunii transversale la care se adaugă atât tipul scurgerii care inițiază ravena, cât și poziția în bazinul hidrografic este folosit de Imeson și Kwaad (1980) pentru clasificarea ravenelor:

- *ravene în formă de "V"* inițiate de scurgerea în suprafață, care pot apare în orice zonă a unui bazin hidrografic, exceptând fundurile văilor;
- *ravene în formă de "U"* inițiate de scurgerea de suprafață în orice zonă a bazinului exceptând, de asemenea, fundurile văilor;

BCU "ALEXANDRU IOAN CUZA" UNIVERSITY LIBRARY

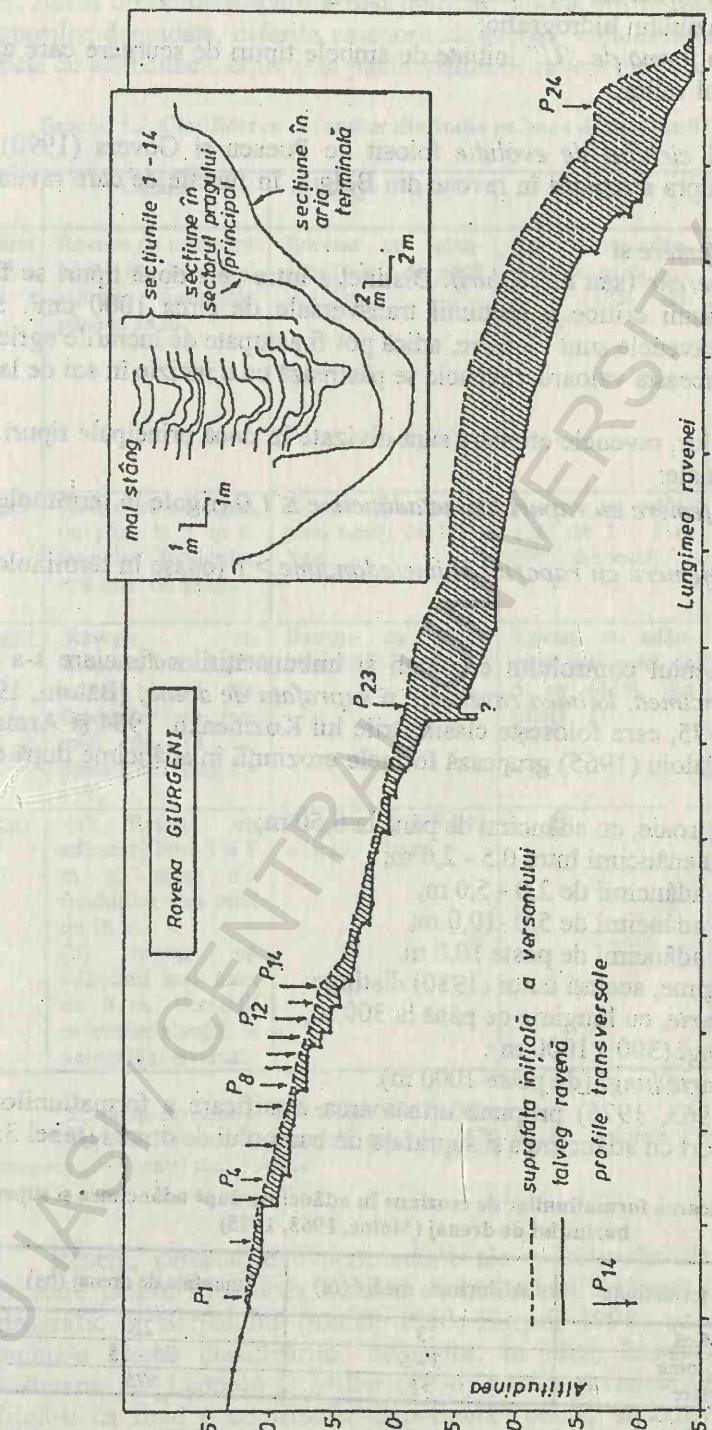


Fig. 3.7. Ravena discontinuă Giurgeni, bazinul superior al Bârladului.

BCU IAȘI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

- *ravene în formă de "U"* inițiate de scurgerea de subsuprafață care apar în orice zonă a bazinului hidrografic;
- *ravene în formă de "U"* inițiate de ambele tipuri de scurgere care apar exclusiv pe fundul văilor.

e) criteriul *ciclului de evoluție* folosit de Poesen și Govers (1990) în cercetările lor asupra eroziunii în ravene din Belgia, în funcție de care ravenele se clasifică în:
- *ravene efemere* și
- *ravene perene* (sau *cu maluri)*. Distincția între cele două tipuri se face pe baza dimensiunii critice a secțiunii transversale de circa 1000 cm². Sub această valoare, ravenele sunt efemere, adică pot fi astupate de lucrările agricole obișnuite. Peste această valoare, ravenele se păstrează ca o incizie în sol de la un an la altul.

La rândul lor, ravenele efemere sunt divizate în două principale tipuri, pe criterii dimensionale:
- *ravene efemere cu raport lățime/adâncime* $\leq 1,0$ (rigole în terminologia românească);
- *ravene efemere cu raportul lățime/adâncime* > 1 (ogașe în terminologia românească).

f) în domeniul controlului eroziunii și îmbunătățirilor funciare s-a pus accentul pe *adâncimea, lățimea ravenelor și suprafața de drenaj* (Băloiu, 1965; Moțoc, 1963, 1975, care folosește clasificările lui Kozmenko, 1954 și Armand, 1955). Astfel, Băloiu (1965) grupează formele eroziunii în adâncime după cum urmează:
rigole de șiroaie, cu adâncimi de până la 0,50 m;
ogașele cu adâncimi între 0,5 - 2,0 m;
ravene cu adâncimi de 2,0 - 5,0 m;
ravene cu adâncimi de 5,0 -10,0 m;
ravene cu adâncimi de peste 10,0 m.
După lungime, același autor (1980) distinge:
ravene scurte, cu lungime de până la 300 m;
ravene lungi (300 - 1000 m);
ravene foarte lungi (de peste 1000 m).
Moțoc (1963, 1975) propune următoarea clasificare a formațiunilor de adâncime în raport cu adâncimea și suprafața de bazinului de drenaj (tabel 3.1).

Tabelul 3.1. **Clasificarea formațiunilor de eroziune în adâncime după adâncimea și suprafața bazinului de drenaj (Moțoc, 1963, 1975)**

Tipul de formațiune	Adâncimea medie (m)	Suprafața de drenaj (ha)
Mică	3	25
Mijlocie	3 - 5	25 - 75
Mare	>5	>75

Asemenea clasificări au fost utilizate și în cercetările asupra ravenelor din India, pe baza cărora Haigh (1984) realizează o sinteză pe autori și provincii din

care se reține atenția asupra elementelor dimensionale ale fenomenului (tabelul 3.2). Acest tip de clasificare a fost preferat altora din rațiuni de ameliorare a terenurilor degradate, diferite categorii de lucrări ameliorative fiind în relație directă cu adâncimea, lățimea și panta malurilor ravenelor.

Tabelul 3.2. **Clasificarea ravenelor din India pe baza dimensiunii (Haigh, 1984)**

	Gujarat	Madhya Pradesh	Rajasthan	Bazinul râului Chambal
Foarte mici	Ravene cu adâncimi până la 1 m și lățimile fundurilor până la 18 m	Ravene cu adâncimi mici, de până la 1,5 m	Ravene cu adâncimi de până la 1 m (18% din total)*	Ravene cu adâncimi mai mici de 1,5 m și lățimi de 3 m (10% din total)** Ravene cu adâncimi mai mici de 1,5 m și mai late de 3 m (60% din total)
Mici	Ravene cu adâncimi de până la 3 m și lățimile fundurilor mai mari de 18 m	Ravene cu adâncimi medii de 1,5 - 5 m	Ravene cu adâncimi de 1 - 5 m (39% din total)	Ravene cu adâncimi între 1,5 și 5 m și lățimi mai mari de 3m (24% din total)
Medii	Ravene cu adâncimi între 3 și 9 m cu lățimi ale fundurilor nu mai mici de 18 m; pantele malurilor 8 - 15%	Ravene cu adâncimi de 5 - 10 m	Ravene cu adâncimi mai mari de 5 m (43% din total)	Ravene cu adâncimi între 5 și 10 m (6% din total)
Mari	(a) Ravene cu adâncimi între 3 și 9 m și lățimi ale fundurilor mai mici de 18 m. (b) ravene cu adâncimi mai mari de 9 m. Versanții ravenelor abrupți, la verticală și ravenați	Ravene foarte adânci, >10 m		

* suprafața ravenată cercetată este de 137 000 ha

**suprafața ravenată cercetată este de 1570 ha în regiunea Chambal Command, în apropierea confluenței râului Alnia

Recent, cercetările experimentale ale colectivului de la Stațiunea de Cercetare pentru Eroziunea Solului de la Perieni realizate în zona bazinului hidrografic al Bârladului (Ioniță, 1998; Hurjui, 1998) au evidențiat aceeași concluzie asupra clasificărilor ravenelor. În plus, Ioniță (1998) a detaliat clasificarea lui Leopold și Miller (1956) pentru ravenele discontinue și am reținut-o ca fiind o contribuție importantă pentru sistematica ravenelor din Podișul Moldovei. Astfel, clasa ravenelor discontinue cuprinde:

1.1. Grupa ravenelor singulare (izolate);
1.2. Grupa ravenelor succesive (în cascadă), separate în:
1.2.1. Familia aluvionară, de tip:
1.2.1.1. Lobat (sistemul convergent sau confuzor)
1.2.1.2. Evazat (sistemul divergent sau difuzor)
1.2.2. Familia erozională.

Un exemplu de ravenă discontinuă este ilustrat în fig. 3.8 asupra căreia vom mai reveni în următoarele secțiuni ale lucrării.

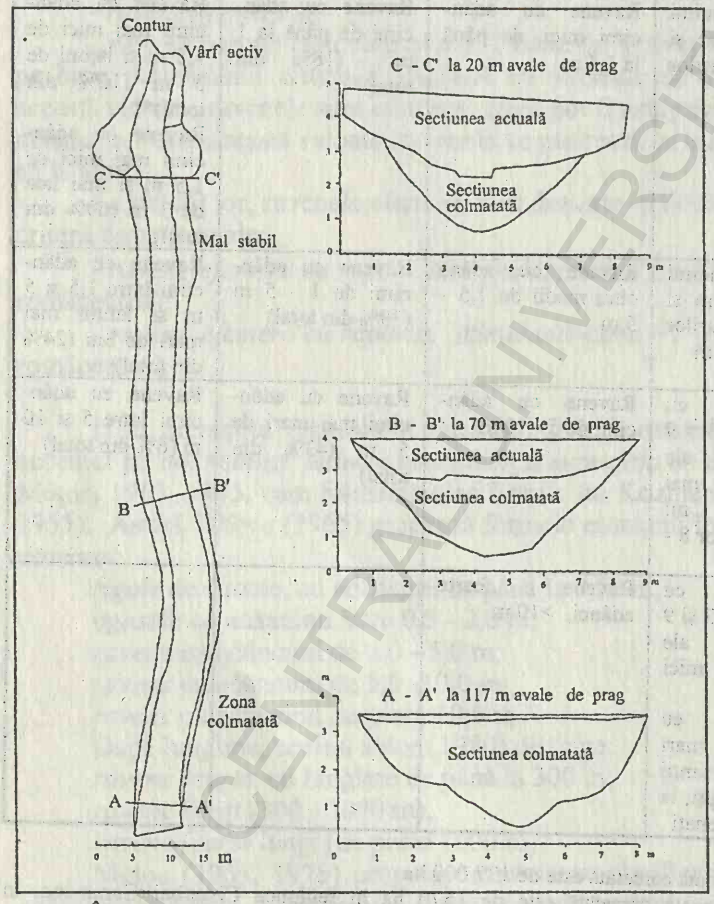


Fig. 3.8. Ravenă discontinuă din Valea Căldării, Podișul Bârladului (Ionită, 1998).

În concluzie, trecerea în revistă a celor mai des citate clasificări ne-a permis să punem accentul pe acelea care ne ajută să înțelegem extinderea, diversitatea și geneza fenomenului. Din acest punct de vedere, clasificarea după forma profilului longitudinal a căpătat o largă circulație în literatura de specialitate, întrucât separarea în ravene discontinue și continue conferă terminologiei mai multă pondere; cei doi termeni înglobează semnificații atât de ordin dimensional (de regulă ravenele continue sunt mai mari decât cele discontinue), chiar genetice, de localizare în spațiu, dar poate cel mai important aspect este cel al stadiului de evoluție; ravenele discontinue sunt mai vechi decât ravenele continue. În acest sens, contribuții importante au fost aduse de Heede (1974, 1975, 1976).

BCU CLUJ / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

4. CONCEPTE TEORETICE ÎN SPRIJINUL CERCETĂRII RAVENELOR

Baza teoretică pentru cercetarea proceselor fizice care inițiază ravene și apoi contribuie la dezvoltarea (evoluția) lor se poate găsi în câteva concepte cu care geomorfologia operează de mai mult timp, și anume: *conceptul de prag, conceptul de creștere alometrică, legea dezvoltării exponențiale.*

4.1. Conceptul de prag geomorfologic

A fost definit și aplicat la sistemele geomorfologice de către Schumm (1973) ca posibilitate de explicație a relației dintre tendințele dichotomice ale dinamicii reliefului în timp lung și în timp scurt. Pragul reprezintă "o zonă critică în care are loc schimbarea sistemului de la o stare la alta" (p. 300) sau, într-o definiție dată de Rao (1978) "pragul reprezintă un punct în care sistemul inițiază un răspuns". În 1979, Schumm revine cu următoarele precizări: un prag geomorfologic este un prag de stabilitate a formelor de relief care este depășit, fie prin schimbări intrinsece ale reliefului însuși, fie prin schimbări progresive ale unei variabile externe. Deși definiția inițială este lărgită, conceptul de "schimbare bruscă" a reliefului rămâne.

Potrivit lui Schumm, se disting două tipuri de praguri geomorfologice: *intrinsec* și *extrinsec*. Când schimbările progresive ale unei variabile externe atrag schimbări bruște ale sistemului este vorba de *praguri extrinsece*; când schimbările din sistem apar în afara unei variabile externe, este vorba de *prag intrinsec*. Deci, în primul caz, forța acționează din afară, în al doilea, aceasta acționează din sistem sau ca o consecință a evoluției sistemului. Pragurile pot apărea în desfășurarea proceselor și/sau formelor de relief. Uneori aceste situații se juxtapun și sunt în relații strânse. Schimbarea proceselor poate cauza discontinuități în morfologie, dar discontinuitățile în morfologie pot induce schimbări în rata proceselor.

Identificarea acestor praguri este un obiectiv important al geomorfologului. Probabil, cele mai cunoscute praguri sunt cele în legătură cu

vitezele care sunt necesare pentru a pune în mişcare particulele sedimentare de o anumită dimensiune. De asemenea, pragurile hidraulice descrise de numerele Froude sau Reynolds sunt deseori exemplificate în acest context.

Au fost iniţiate numeroase cercetări experimentale în teren care au avut ca suport conceptul de prag geomorfologic şi dintre acestea cele mai bune rezultate au dat cele în legătură cu fenomenul de apariţie şi dezvoltare a ravenelor. Asemenea cercetări au fost realizate de Schumm şi Hadley (1959) în vestul SUA asupra a numeroase cazuri de ravene discontinue. Astfel, s-a constatat că iniţierea ravenaţiei este sub incidenţa unei anumite valori de pantă a fundului văilor aluviale.

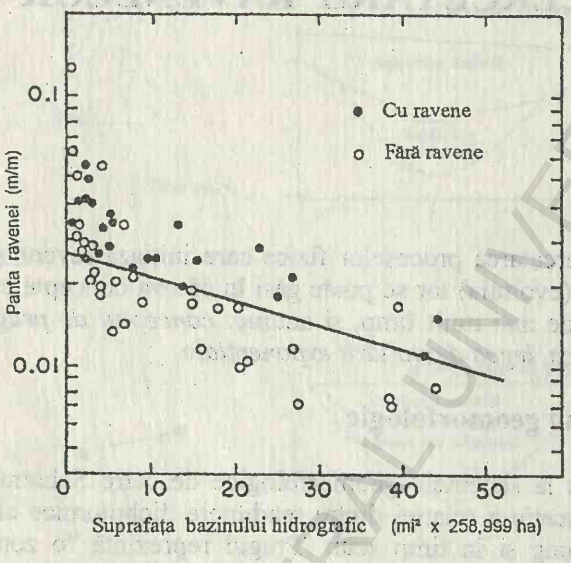


Fig. 4.1. Relaţia între panta fundului de vale şi suprafaţa de drenaj. Linia defineşte panta pragului care separă fundul văilor ravenate de cele neravenate (Patton, Schumm, 1975)

Testarea s-a realizat prin compararea gradientului văilor ravenate cu acela al văilor neravenate. Condiţiile necesare pentru o asemenea testare au fost o litologie, un climat şi o utilizare a terenului aproximativ uniforme (Patton, Schumm, 1975). Pentru fiecare punct unde s-a măsurat panta văilor s-a determinat şi suprafaţa bazinului de drenaj. Din corelarea celor două variabile (fig. 4.1.) s-a identificat o pantă critică peste care aceste văi mici devin instabile, iniţiindu-se fenomenul de ravenaţie.

O zonă de pantă critică a fost evidenţiată şi în cazul cercetărilor asupra răspândirii ravenelor pe fundurile vâlcelelor de pe versanţii de pe partea stângă a Bahluiului la Cepleniţa. Pentru exemplificare, s-a folosit relaţia dintre suprafeţele bazinelor de drenaj ale micilor văiugi şi pantele profilelor de versant, atât în situaţiile în care au apărut ravene, cât şi în cele în care nu au apărut (fig. 4.2.). Zona critică de pantă, în acest caz, apare în jurul valorilor de 15 - 25% variind, evident, în funcţie de mărimea suprafeţei de drenaj: panta critică de formare a ravenelor este mai mare la suprafeţe mici de drenaj (de exemplu la o suprafaţă de 1000 m², panta critică de formare a ravenelor este de 25%) şi scade la o creştere a suprafeţei de drenaj (de exemplu la o suprafaţă de 100 ha panta de iniţiere a ravenelor în condiţiile de la Cepleniţa, Bahlui este de 6,5%).

Din ambele relaţii, stabilite pentru condiţii morfoclimatice diferite se

reține observația că *panta critică depinde de suprafața de drenaj ce alimentează scurgerea*: cu cât suprafața de drenaj este mai mare, cu atât panta necesară inițierii ravenei este mai mică. Această relație ne ajută la determinarea, în condițiile cunoașterii suprafeței de drenaj a unui bazin, a pantei critice a fundului de vale peste care se poate iniția ravenația. Acest concept a stat la baza multor modele de evoluție a ravenelor precum modelul numeric al lui Vandaele et al. (1996) exemplificat în capitolul 9 al lucrării noatre.

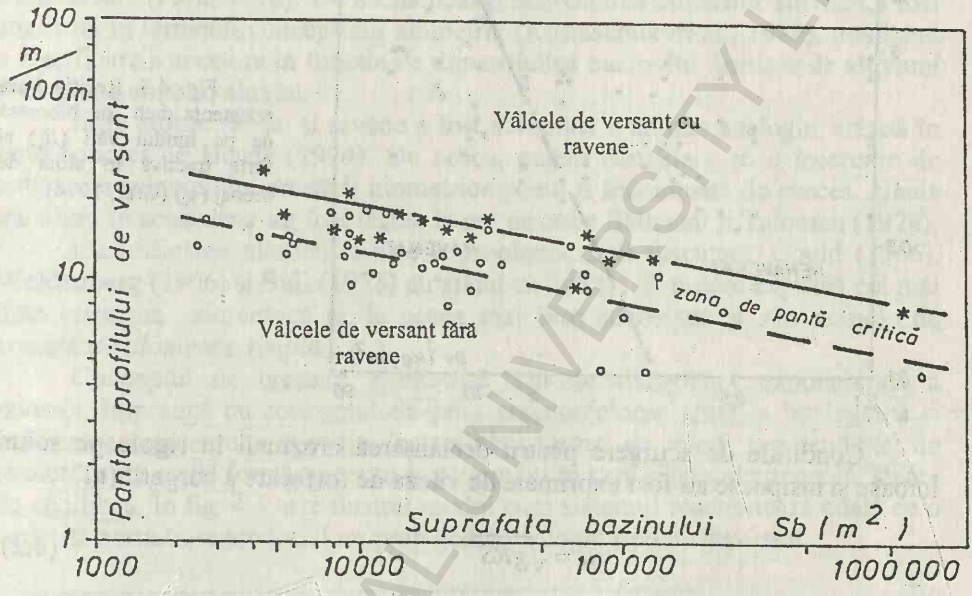


Fig. 4.2. Relația între panta profilului vâlcelelor de versant și suprafața bazinului de drenaj al acestora (bazinul râului Bahlui la Ceplenița).

Vegetația de pe fundul văilor mici are efect de prag extrinsec în cazul forțelor tractive a apelor de scurgere. Relația lui Graf (1979), între cantitatea de biomasă de pe fundul văilor (B_v, kg/m²) și valoarea forței tractive (τ_0) a apei concentrate pe văiuga respectivă identifică o condiție prag în funcție de care starea sistemului se schimbă de la neravenat la ravenat (fig. 4.3.). Această condiție este dată de relația:

$$\tau_0 = 0{,}07\, B_v^{2{,}01} \qquad (4.1)$$

unde B_v este rezistența dată de biomasă pe fundul văii (kg/m²).

In sfârșit, cercetările Laboratorului de Geomorfologie Experimentală de la Leuven, Belgia s-au concentrat asupra condițiilor hidraulice ale inițierii ravenelor, mai precis, ale inițierii rigolelor, aceasta fiind crucială pentru înțelegerea genezei ravenelor (Savat și DePloey, 1982; Govers, 1985; Poesen, 1988). Au fost explorate, de asemenea, tot condițiile de realizare a pragului geomorfologic, plecându-se de la premiza că geneza unei rigole este controlată de raportul între forțele scurgerii areolare și forțele de rezistență ale solului. Există mai multe mărimi pentru a măsura intensitatea scurgerii areolare, cum ar

fi: viteza medie ($\bar{u}$), forța tractivă (τ), puterea curentului apei ($\rho \cdot g \cdot q \cdot s$).

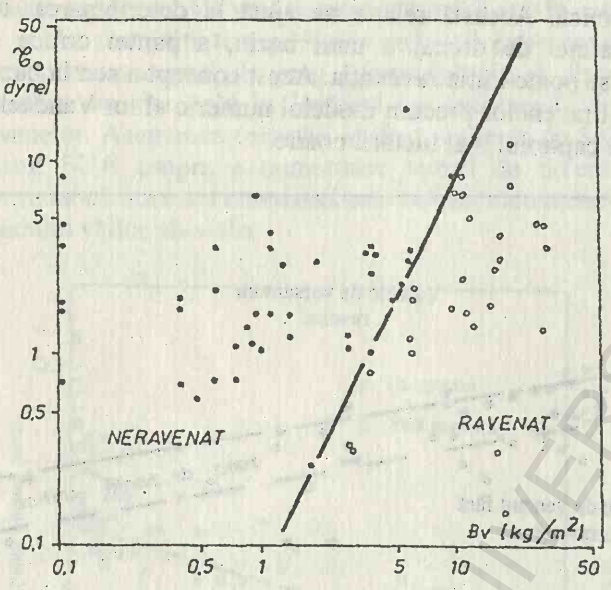


Fig. 4.3. Relația între rezistența dată de biomasa de pe fundul văii (B_v) și forța tractivă în albia de drenaj (τ_0) (Graf, 1974).

Condițiile de scurgere pentru declanșarea eroziunii în rigole pe soluri lutoase și nisipoase au fost exprimate de viteza de forfecare a curgerii (u_*)

$$u_* = \sqrt{gRS} \tag{4.2}$$

și s-a observat că la $u_* < 3$ cm/s curgerea este areală, iar la $u_* > 3$ cm/s curgerea devine concentrată. In consecință, valoarea prag pentru declanșarea eroziunii în rigole este

$$u_* \approx 3 - 3.5 \text{ cm/s} \tag{4.3}$$

și care corespunde unei pante de 2 - 3°. Procesul de inițiere a ravenelor este cu mult mai complex și nu ne propunem să-l discutăm aici. Exemplele aduse au pus accentul în mod expres pe condițiile de prag pentru a ilustra importanța concepului în studiul formațiunilor de adâncime, în general, asupra căruia există o unanimitate de păreri în lumea specialiștilor.

4.2. Conceptul de creștere alometrică

Conceptul de creștere alometrică a apărut inițial în biologie la sfârșitul secolului XX, ca o încercare de cuantificare a relației dintre greutatea creierului și greutatea corpului organismelor. Mai apoi a fost generalizat de Huxley, 1924, cit. în Park, 1978), iar Gould (1966) a pus bazele exprimării lui matematice. În geomorfologie s-a dezbătut un model de acest tip, așa - numita "creștere alometrică statică" (analiza interrelațiilor la un timp dat), cu aplicabilitate, în

BCU IASI - BIBLIOTECA CENTRALA UNIVERSITARA LIBRARY

mod deosebit, la sistemele fluviale (Woldenberg, 1966; Bull, 1975, 1977; Cox, 1977; Park, 1978).

Conceptul de "geometrie hidraulică" propus şi dezvoltat de Leopold şi Maddock (1953) a fost prezentat ca fiind cel mai clar şi mai uşor de înţeles exemplu de alometrie în geomorfologie (Woldenberg, 1966). Creşterea alometrică a fost demonstrată la nivelul a numeroase variabile morfometrice ale sistemelor fluviale de la scara unui bazin hidrografic până la scara unei secţiuni transversale (Park, 1978). De asemenea, şi dezvoltarea conurilor aluviale a fost analizată în termenii conceptului alometric (Kostaschuk et al., 1986), rezultând o clasificare a acestora în funcţie de dimensiunea bazinului furnizor de aluviuni şi de panta conului aluvial.

Între albiile de râu şi ravene a fost acceptată o anume analogie, arătată în mod concret de Heede (1974). De aceea, putem considera că o încercare de aplicare a principiului creşterii alometrice poate fi încununată de succes. Unele menţiuni în acest sens au fost făcute la noi de către Bălteanu şi Taloescu (1978).

Cuantificarea alometriei este o problemă mult discutată. Gould (1966), Woldenberg (1966) şi Bull (1975) au arătat că funcţia de putere exprimă cel mai bine creşterea alometrică şi de aceea mai este cunoscută şi sub numele de *ecuaţia de alometrie simplă.*

Conceptul de creştere alometrică sau de dezvoltare exponenţială a ravenei, împreună cu conceptul de prag geomorfologic ajută la înţelegerea şi explicarea momentului apariţiei instabilităţii formei de relief şi a tendinţei de evoluţie spre o altă formă, precum şi a timpului în care sistemul ajunge la starea de echilibru. În fig. 4.4 este ilustrat modul cum sistemul reacţionează odată ce o anumită perturbare are loc şi un prag geomorfologic trebuie traversat.

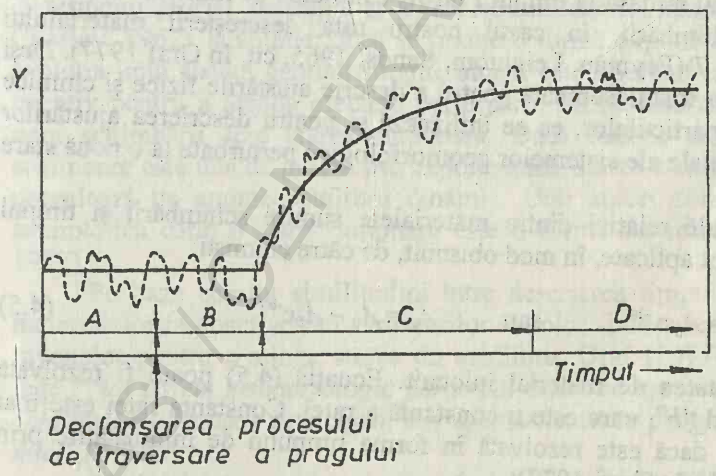


Fig. 4.4. Reprezentare grafică a răspunsului sistemului geomorfologic supus unei perturbări (Graf, 1977).

Sistemul geomorfologic fluvial este deosebit de senzitiv la schimbările în utilizarea terenurilor. Înainte de intervenţia antropică, de exemplu, sistemul se află într-o condiţie care aproximează o stare staţionară (timpul A în fig. 4.4). Orice interferenţă a omului în utilizarea terenurilor sau alte modificări privind formele de relief va perturba starea staţionară iniţială. Perioada între perturbare şi începerea schimbării în sistem se numeşte *timp de reacţie* (timpul B); perioada

între începerea schimbării și stabilirea unei noi stări staționare este numită *timpul de relaxare* (timpul C), după care sistemul intră într-o nouă stare staționară (timpul D). Declanșarea procesului de traversare a pragului are loc cu mult înainte ca sistemul să se angajeze efectiv în traversarea pragului, respectiv, la limita între timpul A și timpul B (fig. 4.4).

Cele două concepte demonstrează că ravenația este un fenomen cu o comportare ciclică; după depășirea unui prag, sistemul devine instabil și evoluează spre o stare staționară până când este depășit un alt prag și se inițiază o altă fază de instabilitate.

4.3. Legea exponențială a evoluției în geomorfologie

Un model în care se regăsesc adunate ideile exprimate până acum este cel definit de Graf (1977) în așa - numita *lege exponențială a evoluției* (The Rate Law). Modelul este asemănător cu cel al timpului de înjumătățire folosit în fizică și chimie pentru a descrie reducerea izotopilor radioactivi sau în cazul amestecului soluțiilor. La baza acestei legi stă conceptul de înjumătățire a masei: jumătate din masa inițială este transformată într-un nou izotop, într-o anumită perioadă de timp. În următoarea perioadă de timp, jumătatea rămasă se transformă în alt izotop, și fenomenul se repetă. Tratată în mod algebric, legea reducerii exponențiale a masei este un raport între cantitatea inițială de material și cantitatea rămasă după un anumit timp:

$$(1/2)^{t/T}=A_t/A_0 \qquad (4.4)$$

unde t este timpul petrecut, T este perioada de înjumătățire, A_t reprezintă cantitatea de material rămasă la timpul t iar A_0 cantitatea de material inițial. 1/2 reprezintă rata schimbării, în cazul nostru rata descreșterii materialului radioactiv în timpul T (Feyman, Leightom, Sands, 1965, cit. în Graf 1977). Deși ecuația de mai sus a fost desemnată pentru a descrie ajustările fizice și chimice ale materialelor și particulelor, ea se utilizează și pentru descrierea ajustărilor spațiale și dimensionale ale sistemelor geomorfologice perturbate la o nouă stare staționară.

Alte forme ale relației dintre materialele supuse schimbării și timpul necesar acesteia sunt aplicate, în mod obișnuit, de către chimiști:

$$A_t = A_0 e^{-bt} \qquad \text{sau} \qquad A_x = A_0 - A_0 e^{-b\,t} \qquad (4.5)$$

unde A_x este cantitatea de material înlocuit. Ecuația (4.5) poate fi rezolvată folosind exponentul "b", care este o constantă a ratei. Constanta ratei este mai ușor de interpretat dacă este rezolvată în forma timpului de înjumătățire prin relația (Laidler, 1965 în Graf, 1977):

$$T = \frac{(\ln 2)}{b} \qquad (4.6)$$

Creșterea în lungime a ravenelor poate fi descrisă cu ajutorul legii ratei, realizând o predicție pe baza relației dintre timp și dimensiunea ravenei. Dacă t este timpul scurs din momentul perturbării, A_0 este egal cu lungimea potențială de echilibru a ravenei, A_x reprezintă lungimea ravenei iar A_t este lungimea de

teren ce urmează a fi erodată înaintea atingerii stării de echilibru, ecuația (4.4) descrie ajustările spațiale ale unui sistem de ravene, desfășurate înaintea atingerii noilor dimensiuni de echilibru. Aceste ajustări au loc prin traversarea câtorva valori prag, în contextul discuției asupra pragurilor geomorfologice. Odată cu trecerea fiecărui "timp de înjumătățire" se va eroda jumătate din lungimea de versant. Ecuația (4.5) descrie lungimea ravenei care urmează a fi erodată la un timp dat, iar ecuația (4.6) descrie lungimea ravenei la un timp dat (de notat că $A_x + A_t = A_0$).

Asemănător declinului izotopilor și apropierea de noi izotopi stabili, ravenele se dezvoltă către lungimi de echilibru prin rate de descreștere continuă a eroziunii (consumului de masă). În timp ce lungimea crește, alte procese, cum ar fi colmatarea sau adâncirea, au loc în trunchiul principal. *Lungimea de echilibru* este distanța de la gura ravenei la acel punct din talveg unde cantitatea de apă care poate îndepărta materialul nu are suficientă energie pentru a învinge rezistența rocii. Un asemenea punct poate fi pe cumpăna de ape sau platoul interfluvial - punctul de maximă migrare a ravenei. Expansiunea ravenei nu poate avea loc amonte de acest punct. Localizarea punctului de echilibru și definiția lungimii de echilibru variază conform covorului de vegetație, alcătuirii litologice, tipului de sol și climatului.

Ecuația (4.5) poate fi rezolvată în forma liniară:

$$\ln A_t = \ln A_0 - bt \tag{4.7}$$

Dacă sunt disponibile suficiente informații pentru A_t și A_x și pentru t, soluția ecuației definește constanta ratei, b. Interpretarea formei funcției are loc în termenii *teoriei sistemice* și a *teoriei echilibrului dinamic* (Strahler, 1952; Chorley, 1962), și anume: dacă se obține o formă exponențială negativă pentru evoluția unui sistem geomorfologic, atunci este operantă o buclă de feed-back negativ pentru a atenua efectele perturbării, buclă descrisă de o descreștere a ratei schimbării spre starea staționară. Dacă funcția care ajustează această schimbare este una de putere sau exponențială, starea staționară nu este atinsă și prevalează un anume echilibru dinamic. Unii autori consideră că apropierea asimptotică către o stare staționară este o formă de echilibru dinamic (Graf, 1977).

Pe baza acestor similitudini între descrierea timpului de înjumătățire a materialelor radioactive sau a mixturilor chimice și descrierea timpului evoluției ravenelor pentru a atinge starea de echilibru, Graf (1977) a emis următoarea lege : *"un sistem geomorfologic perturbat brusc se apropie de o nouă stare de echilibru mai repede la început, dar ajustările devin progresiv din ce în ce mai mici"* (p. 183).

Modelul legii exponențiale a fost aplicat de Graf (1977) pentru studiul evoluției ravenelor din ținutul Colorado, SUA, dar și de noi pentru ravenele din Podișul Moldovei, aspect asupra căruia vom insista mai mult la capitolul privind modele de evoluție a ravenelor.

5. METODE DE CERCETARE

Studiul ravenelor se realizează după metodologii care au în vedere procedee şi tehnici de teren, de laborator şi o secţiune importantă de procesare şi analiză a datelor obţinute.

5.1. Metode de lucru în teren şi tehnici de inventariere

O primă problemă care se pune pentru cunoaşterea fenomenului de ravenaţie într-o regiune este cea a inventarierii ravenelor ca număr, densitate, dimensiuni, tipuri, poziţia în bazinul hidrografic etc. Pentru aceasta se utilizează cartarea geomorfologică, direct, în teren, utilizând hărţi topografice şi aerofotograme. Acestea au fost folosite pentru cunoaşterea extinderii fenomenului de ravenare în India (Haigh, 1984), Tadjikistan (Ahmadov, 1977), partea europenă a fostei URSS (Kosov, Konstantinova, 1972), Israel (Seginer, 1966), Madagascar (Wells et al., 1991), Lesotho (Nordstrom, 1988), Brazilia (De Oliveira, 1990), SUA (Piest et al., 1975; Heede, 1975), Canada (Burkard, Kostaschuk, 1995). În România, asemenea inventarieri au fost realizate de Moţoc et al. (1979), Mihai et al. (1979), Ichim et al. (1990), Rădoane, Rădoane (1992). În cercetarea extinderii ravenelor efemere, o problemă importantă pentru morfodinamica terenurilor agricole pe terenuri de loess, au fost folosite aceleaşi surse de informare, aşa cum arată tabloul oferit în tabelul 5.1.

Inventarierea pe hărţi topografice în scara 1: 25000 şi scara 1: 5000 a fost realizată pentru un teritoriu de 25 000 km^2 cuprins între râurile Siret şi Prut (Rădoane, Rădoane, 1992). Reţeaua de meridiane şi paralele delimitează pe aceste hărţi suprafeţe de 1 km^2, care au fost folosite drept celule pentru culegerea informaţiilor conţinute şi anume: lungimea, adâncimea ravenei, distanţa de la vârful ravenei la cumpăna de ape, poziţia ravenei în raport cu expoziţia versantului, tipul de ravenă (continuă sau discontinuă, de vale sau de versant), numărul şi densitatea ravenelor. Aceste informaţii, odată prelucrate după metode statistico - matematice au fost utilizate pentru realizarea de hărţi ale repartiţiei fenomenului.

BCU CLUJ / UNIVERSITY LIBRARY

Tabelul 5.1. **Metodele folosite în cercetarea ravenelor efemere (Vandaele et al., 1996)**

Regiunea	Sursa	Metoda de observaţie	Calcularea pantei	Calcularea suprafeţei de drenaj	Adâncire prin:
Belgia centrală	Vandaele et al (1995)	Aerofotograme	GIS, hărţi topografice, scara 1/10000	GIS	Ravenare efemeră
	Posen et al (1995)	Cercetări de teren	Măsurători directe în teren	Măsurători directe în teren	Ravenare efemeră
	Govers (1991)	Cercetări de teren	Măsurători directe în teren	Măsurători directe în teren	Şiroire
Franţa	I.G.N. (1983)	Aerofotograme	hărţi topografice, scara 1/10000	De pe harta topografică	Ravenare efemeră
Marea Britanie - partea de sud	Boardman (1992)	Cercetări de teren	Măsurători directe în teren	De pe harta topografică	Ravenare efemeră
Portugalia	Vandaele et al (1995)	Aerofotograme	GIS, hărţi topografice, scara 1/25000	GIS	Ravenare efemeră
California şi Oregon (SUA)	Montgomery, Dietrich (1988)	Cercetări de teren	Măsurători directe în teren	De pe harta topografică (planimetrare)	Alunecări la scară mică şi şiroire
Colorado (SUA)	Patton, Schumm (1975)	Aerofotograme	hărţi topografice, scara 1/50000	De pe harta topografică	Ravenare discontinuă

Pentru arealele de mare densitate ale ravenelor sunt extrem de utile planurile topografice la scară mare (1:5000; 1:2000). De exemplu, în bazinul superior al Bârladului, în bazinul Bahluiului şi în cel al Jijiei s-a măsurat geometria ravenelor utilizând informaţia oferită de asemenea planuri topografice (Rădoane et al., 1988).

În ultimii ani a căpătat o dezvoltare accentuată metodele de analiză numerică a terenurilor (Digital Elevation Models) care pot fi abordate prin digitizarea curbelor de nivel de pe hărţile topografice pentru a obţine datele de interes în cercetarea respectivă. În tabelul 5.1 se menţionează utilizarea acestor metode în contextul Sistemelor de Informaţii Geografice, operaţionale în contextul dezvoltării tehnicii de calcul electronic.

Aerofotogramele au fost utilizate cu preferinţă de către autori acolo unde au fost disponibile, deoarece permit obţinerea informaţiilor cu un grad mai mare de acurateţe. De exemplu, pentru ţărmul de est al Lacului Huron baza de date pentru 44 de ravene a fost obţinută de pe aerofotografiile din 1930, 1955, 1966, 1978, 1983 şi 1992 (Burkard şi Kostaschuk, 1995). Oricât ar părea de ciudat, areale extrem de întinse din continentul african sunt foarte bine acoperite cu aerofotograme. De exemplu, Lesotho deţine aerofotograme pentru întreg teritoriul din 1950, 1961 - 1962, 1979 - 1980, iar din 1983 sunt disponibile fotograme color (Nordstrom, 1988). O situaţie comparabilă a fost prezentată şi pentru Mozambic (Wells et al., 1991). Asemenea materiale au fost folosite cu succes pentru realizarea de studii asupra severităţii eroziunii în ravene, creşterea în suprafaţă a

bazinelor ravenate (*expansiunea*) și creșterea fragmentării reliefului în bazinele respective (*extensiunea*) în perioada 1950 - 1983 pentru regiuni întinse ale Africii. *Expansiunea* are loc prin procese de mal sau prin fuziunea mai multor vârfuri mici de ravene. *Extensiunea* este favorizată de fenomenul de sufoziune care creează *bad - lands* - uri. Cele două procese, expansiunea și extensiunea, sunt într-o asemenea relație, încât o creștere a densității de drenaj (extensiunii) determină o creștere a suprafeței de drenaj (expansiunii). Este posibil, astfel, să se calculeze rate anuale de evoluție, de exemplu a extensiunii în m/km²/an și a expansiunii în m²/km²/an. În plus, la inventarierea lungimilor și suprafețelor ravenelor în fiecare bazin, se poate adăuga și numărul de vârfuri de ravenă în diferiți ani și, astfel, se pot calcula rate de *număr de vârfuri ravenă/km²/an.*

Pentru completarea informațiilor obținute cu ajutorul hărților și aerofotogramelor sunt necesare cercetări de teren. În cercetările realizate de noi pentru studiul ravenelor din teritoriul cuprins între Siret și Prut, s-au realizat planuri topografice la scări convenabile (de exemplu 1:200 și 1:500) pentru înregistrarea morfologiei de detaliu a ravenelor (tipul secțiunii transversale, evidența proceselor de mal, a pragurilor de talveg etc.). În Podișul Moldovei s-au ridicat în plan mai multe ravene localizate în 5 zone distincte: Sulița lângă Botoșani; Gurguiata lângă Hârlău; Secărești lângă Târgu Frumos; Perieni lângă Bârlad și Berești lângă Târgu Bujor (tabelul 5.2).

Tabelul 5.2. **Caracteristicile morfometrice ale unor ravene studiate**

Nr.	Numele	Lungimea (m)	Aria suprafeței plane (m²)	Adâncimea medie (m)	Energia (m)	Lățimea medie (m)	Suprafața medie a secțiunii trans. (m²)	Volumul de depozite dislocate (m³)
1	Sulița	1536,0	51266	4,41	48,9	33,71	108,44	166502
2	Gurguiata Mare	704,5	35205	6,30	45,2	43,34	186,97	131648
3	Coada Gâștii	158,8	720000	6,70		53,00	195,20	31005
4	Roșcani I	881,3	9969	4,35	50,6	12,36	30,82	27311
5	Roșcani II	338,0	3803	4,58	37,0	11,92	31,51	10650
6	Poiana I	351,0	5102	5,03	64,5	14,58	52,00	18252
7	Poaiana II	247,5	5367	5,46	47,4	21,55	74,39	5334
8	Poiana III	87,7	787000	3,35	24,1	8,00	16,30	1429
9	Fântânele I	399,0	9789	5,02	33,4	22,75	76,68	30595
10	Fântânele II	85,7	787000	5,54	39,4	24,71	85,21	1426
11	Bâzanu	873,8	11829	4,64	38,4	13,82	54,54	47633
12	Meria	290,0	6267	6,67	47,6	22,88	81,52	23641
13	Secărești I	424,0	8807		50,9		52,95	22453
14	Secărești II	414,0	5809		52,0		36,49	15108
15	Cepleniță	410,0	20076		42,8		135,04	55368
16	Gurguiata Mică	145,0	1493		16,4		48,88	7088
17	Deleni	262,0	3902		31,9		16,68	4371
18	Ungureanu	263,0			27,3		27,75	7298
19	Giurgeni	428,0	6269		36,4		61,28	26228

Fiecare din aceste ravene a fost echipată cu o rețea de picheți care marchează poziția profilelor transversale. Numărul secțiunilor transversale a variat pentru

fiecare ravenă, distanța între profile fiind de 3 - 4 ori lățimea ravenei. De asemenea, în timpul ridicării în plan s-a realizat o cartare amănunțită a proceselor de mal și talveg (prezența alunecărilor de teren, a prăbușirilor, a tunelurilor de sufoziune, a marmitelor din talveg, a pragurilor etc.).

O activitate importantă în teren este prelevarea probelor de rocă în care este adâncită ravena. Pentru ravenele eșantion din Podișul Moldovei, probele au fost prelevate din puncte distanțate la 1 m, de la suprafață, pe o adâncime de 5 - 10 cm. Probele au fost apoi combinate pentru a rezulta o mostră comună pentru malul drept, malul stâng și fundul ravenei. Greutatea de material din fiecare probă nu a depășit 1 kg.

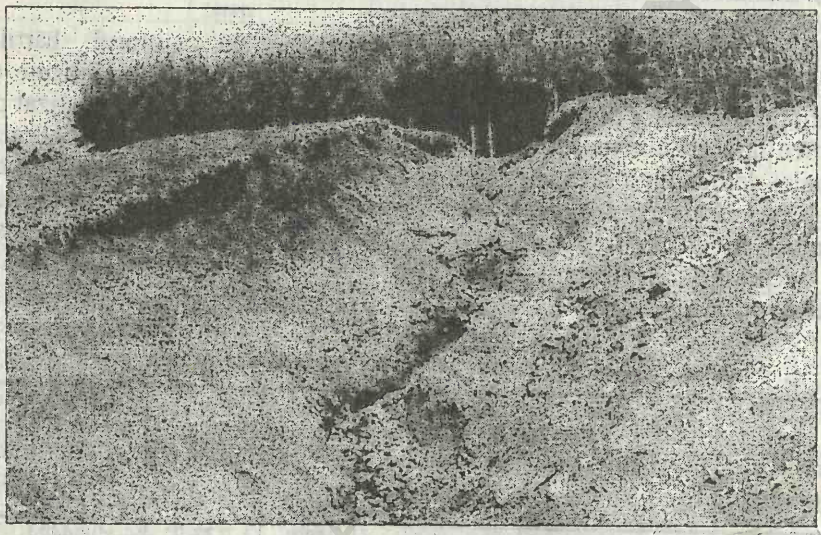


Foto 5.1. Ravenă adâncită în depozitele de versant ale bazinului Pângarați (foto N. Rădoane)

Cercetările de teren trebuie să se concentreze și asupra zonei adiacente ravenei propriu - zise, și anume, suprafața drenajului amonte de vârful ravenei, în legătură cu care unii autori propun ca variabile: mărimea ariei de drenaj ca un înlocuitor pentru mărimea scurgerii lichide, panta terenului amonte de vârful ravenei, distanța de la vârful ravenei la cumpăna de ape, apariția unor roci rezistente la vârful ravenei, prezența fenomenului de *piping*, prezența sau absența unor lucrări de terasare a terenului în care s-a adâncit ravena (cf. Thompson, 1964; Nordstrom, 1988).

Pentru inventarierea fenomenului de *piping*, Nordstrom (1988) a propus relația:

$$L_p = \frac{\text{lungimea totala a suprafetei afectate de } piping}{\text{lungimea totala a ravenelor} \times 2}$$

Valoarea maximă este 1, realizată când *piping* - ul este prezent pe ambele maluri ale ravenei.

Ravenele din bazinul Pângărați (foto 5.1) dezvoltate pe pante accentuate în depozite de versant au fost studiate în detaliu de N. Rădoane (1988) prin utilizarea

ridicărilor repetate ale secțiunilor transversale pe repere fixe. Morfodinamica acestor tipuri de ravene fiind controlată în principal de sezonalitate, măsurătorile au fost realizate toamna, înaintea stabilirii înghețului în sol, cât și primăvara, la instalarea dezghețului general. Imaginea prezentată în foto 5.1 este tipică pentru ravenele de versant din aria munților flișului.

5.2. Metode de lucru în laborator

Activitatea de laborator constă în realizarea de măsurători morfometrice ale ravenelor eșantion pe planurile topografice și în pregătirea și analiza probelor de sedimente, ape prelevate în timpul campaniilor de teren.

Pentru obținerea variabilelor morfometrice de pe planurile topografice la scară mare se ține cont de secțiunile transversale determinate în teren și care pot fi numerotate după exemplul din fig. 5.1. În cazul cercetărilor noastre, geometria ravenelor eșantion din Podișul Moldovei a fost cuantificată utilizând metoda secțiunilor transversale perpendiculare pe talvegul ravenei (fig. 5.1). Variabilele considerate de noi sunt prezentate în tabelul 5.2.:

Tabelul 5.2. **Variabilele utilizate în studiul ravenelor din Podișul Moldovei (Rădoane et al., 1995)**

Variabila	Simbolul	Unitatea de măsură	Amplitudinea de variație
Lungimea ravenei față de obârșie	*L*	m	1536,0 - 89,75
Relieful ravenei	*E*	m	80,3 - 24,10
Suprafața în plan a ravenei	*SA*	m²	51266,0 - 786,90
Adâncimea maximă	*HX*	m	11,75 - 0,30
Adâncimea medie	*HD*	m	7,74 - 0,14
Lățimea	*B*	m	53,20 - 1,10
Perimetrul secțiunii transversale	*P*	m	68,00 - 3,40
Lățimea fundului ravenei	*LFR*	m	12,60 - 0,10
Raportul lățime/adâncime	*F = B/HX*	-	4,53 - 3,67
Raza hidraulică	*RH = SS/B*	m	7,89 - 0,44
Aria secțiunii transversale	*SS*	m²	419,20 - 0,48
Factorul de formă (Heede, 1974)	*SF = HX/HD*	-	1,52 - 2,14
Volumul cumulat de material îndepărtat:	*W*	m³/m	99519,0 - 4,00
- prin procese de mal	*WM*	m³/m	39983,0 - 0,10
- prin procese de adâncire	*WA*	m³/m	42330,0 - 0,10
Secționarea laterală/liniară	*G*	m	19,20 - 0,01
Diametrul median al materialului:			
- de pe fundul ravenei	*DA*	mm	0,35 - 0,0008
- din malurile ravenei	*DM*	mm	0,24 - 0,0016
Procentul silt - argilă din materialul:	*FA*	%	95 - 1
- de pe fundul ravenei	*FT*	%	93 - 9
- din malurile ravenei			
Media ponderată a procentului silt - argilă din secțiunea transversală a ravenei	*M*	-	92,78 - 7,86

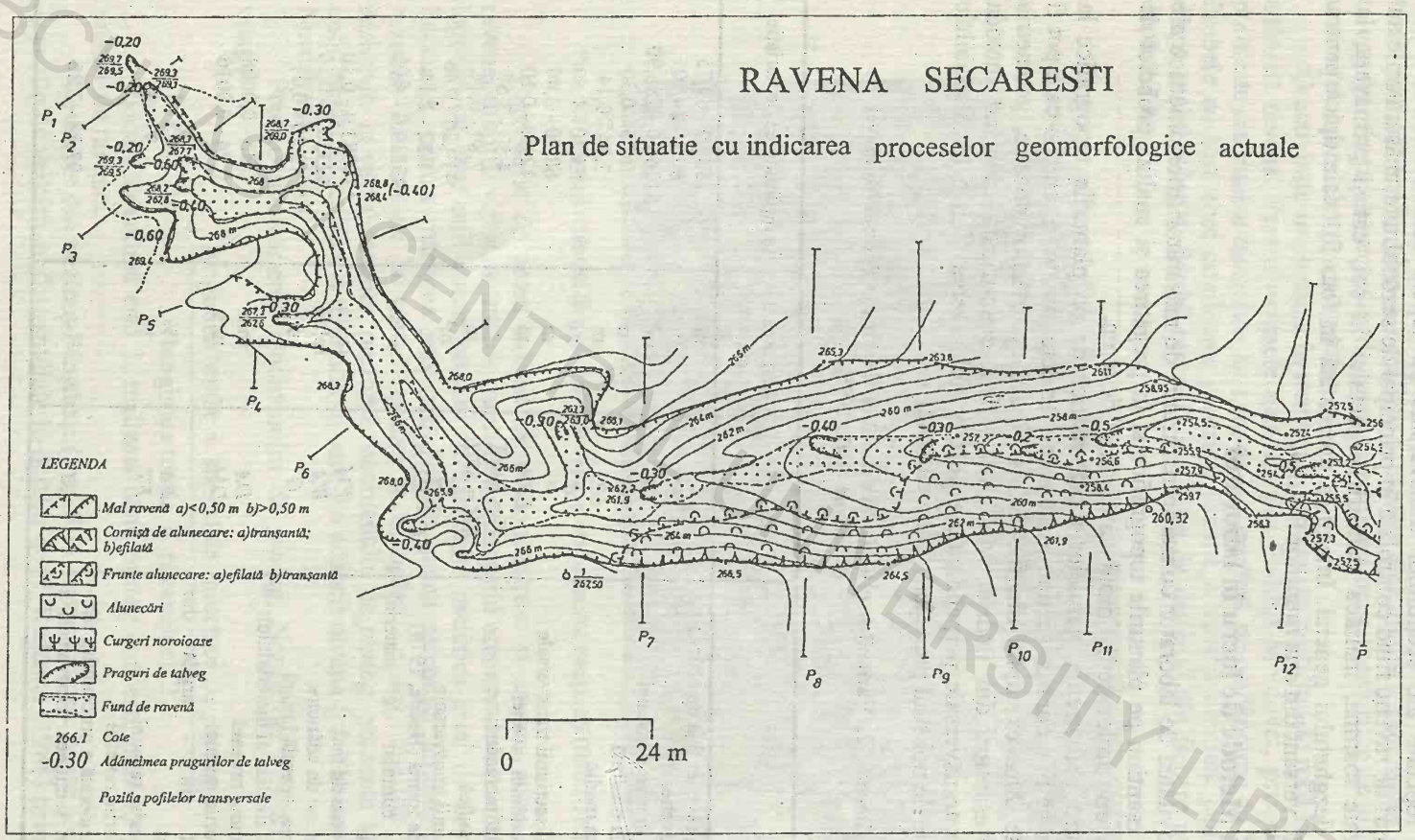


Fig. 5.1. Model de analiză a ravenelor din Podișul Moldovei: realizarea planului de situație, cartarea geomorfologică a proceselor actuale din perimetrul ravenci și trasarea secțiunilor transversale pentru analize geomorfometrice și sedimentologice.

BCU CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

- variabile ce caracterizează dezvoltarea în profil longitudinal a ravenei (lungimea ravenei, suprafața activă, volumul de material dizlocat);
- variabile ce caracterizează secțiunea transversală a ravenei (adâncimea, lățimea, suprafața secțiunii transversale);
- variabile ce caracterizează morfologia bazinului de drenaj al ravenei amonte de vârful ravenei (suprafața, panta, energia);
- variabile ce caracterizează depozitele de suprafață ale ravenei (diametrul median al materialului din perimetrul secțiunii transversale, procentul de silt argilă din perimetrul secțiunii, unele elemente de chimia solului).

Toate grupele de variabile au fost cuantificate în funcție de punctul de obârșie a ravenei (sau vârful ravenei), având în vedere că zonele de obârșie a ravenelor se modifică foarte rapid și atrag modificări ale tuturor parametrilor geometrici din aval.

Analiza probelor eșantionate a constat din determinarea granulometriei (prin metoda sedimentării) pentru depozitele din fiecare punct de prelevare. Cu ajutorul curbelor granulometrice cumulative s-au evaluat diametrele caracteristice și procentele de argilă, silt și nisip. De asemenea, s-au obținut prin formule ce descriu forma repartițiilor granulometrice: media, mediana, asimetria și kurtosisul. În final, parametrul *M* a fost calculat pentru fiecare secțiune transversală de ravenă.

Formula *M* a fost propusă de Schumm (1960) ca medie ponderată a procentului de silt - argilă pentru depozitele ce compun perimetrul albiilor minore și anume:

$$M = \frac{SC \cdot B + SB \cdot 2D}{B \cdot 2D}$$

unde *SC* este procentul de silt - argilă din depozitele de fund ale secțiunii ravenei; *SB* reprezintă procentul de silt - argilă din depozitele din malurile ravenei; *D* este adâncimea maximă a ravenei (m) iar *B*, lățimea ravenei (m).

O altă categorie de analize se referă la stabilirea proprietăților chimice ale depozitelor ravenate, în care se includ: procentul de Na adsorbit (*PSA*%), capacitatea de schimb cationic, conductivitatea electrică, procentele de săruri solubile, carbonați, gips, materie organică (Heede, De Bano, 1984).

5.3. Procesarea datelor obținute

Informația obținută din măsurătorile de teren și de laborator poate însuma o cantitate impresionantă de date care necesită o prelucrare folosind metodele statisticii matematice, și anume:

- obținerea elementelor de statistică descriptivă (media, deviația standard, asimetria, ascuțimea repartițiilor, eliminarea unor eventuale erori);
- obținerea unor relații empirice între variabile;
- analiza statistică multivariată a datelor (analiza factorială, analiza componentelor principale, analiza funcției discriminante, metode de clasificare) pentru a evidenția eventuale similitudini între parametri, tendințe de asociere în setul de date, simplificându - se, astfel, interpretarea rezultatelor (East, 1985; Wells et al., 1991; Rădoane et al., 1995; Ioniță, 1998).

6. CAUZELE INIȚIERII RAVENELOR

Cea mai frecventă opinie exprimată de majoritatea autorilor este aceea că ravenația este o dispunere complexă a mai multor procese. Aceasta se datorează, poate, și faptului că datele necesare unei ierarhizări și cuantificări mai precise ale factorilor lipsesc deocamdată, iar autorii sunt, deseori, nevoiți să facă apel la noțiuni vagi, cum este această "dispunere complexă". Nici apelul la realizarea de modele nu a fost încununat de mai mult succes. Iată, de exemplu, o relatare umoristică despre angoasa geomorfologului, hidrologului sau sedimentologului, silit să recurgă la utilizarea modelelor empirice și pe care o prezentăm integral după Rice (1982), în dorința de a scoate în evidență dificultatea de abordare a complexității lumii reale. Când folosește asemenea modele, geomorfologul murmură o rugăciune: "Doamne, fă ca lumea să fie liniară și gausiană". El dorește această liniaritate pentru că astfel poate estima cu precizie coeficienții modelului de regresie multiplă. Din păcate, rugăciunea rareori primește răspuns. Lumea reală este în foarte mică măsură liniară și atunci, analistul nostru este silit să adune și mai multe observații, de cele mai multe ori, de calitate din ce în ce mai slabă, utilizează programe de calculator, selectează seturi optime de variabile independente (așa-numiții factori), dar constată, în final, că "eroica statistică" oferă un redus suport pentru o bază solidă de interpretare. Această dilemă rezultă din "hiperscedasticitatea" proceselor geomorfologice (un termen care rezumă contrastul între natura relativ predictibilă a factorilor de control și rezultatul geomorfologic - în cazul nostru ravenele - care nu răspunde în aceeași măsură de predictibil la stimulii factorilor de control). Răspunsul la această dilemă nu este greu de dat: "Ne rămâne obligația de a asigura că metodele noastre sunt cât mai mult posibil științifice și obiective. Raționamentele trans-științifice[1] pe care geomorfologii sunt forțați să le facă trebuie să fie susținute de o geomorfologie cu adevărat științifică: o știință sceptică cu un conținut intelectual coerent, cu un puternic suport pe fenomene reale" (Philip, 1975).

[1] Weinburg, 1972 (cit. de Rice, 1982) a introdus adjectivul *trans-științific* pentru a descrie acea știință care primește întrebări, dar nu poate oferi (încă) răspunsuri.

În acest spirit nu prea mobilizator, ne propunem să rezumăm încercările de evaluare a "celui mai important"sau "celor mai importanți" factori în formarea ravenelor, care extrapolează experiența cercetărilor proprii sau care se bazează pe literatura de specialitate. Vom reaminti câteva din aceste opinii pe considerente cronologice.

Woodburn (1949) consideră că *precipitațiile* și *spălarea versanților* ar fi cauze principale. Thompson (1964) alege pentru modelul său următorii factori: *suprafața de drenaj amonte de vârful ravenei, precipitațiile și conținutul de argilă al depozitelor din pragul de obârșie.* Beer și Johnson (1963) au avut în vedere *suprafața de drenaj* ca înlocuitor al mărimii scurgerii lichide, *suprafața terasată* din aria de drenaj, *lungimea ravenei și distanța de la vârful ravenei la cumpăna de ape.* Seginer (1966) consideră că *suprafața de drenaj amonte de vârful ravenei*, ca o măsură a mărimii scurgerii lichide, este responsabilă pentru avansarea ravenei, părere la care subscriu și cercetătorii ruși (Zorina et al., 1988).

Piest et al. (1975a) izolează ca factor dominant *scurgerea lichidă*, care explică 70 - 78% din variația ratei de eroziune a ravenei. Heede (1971) consideră că cel mai important rol îl *are apa de infiltrație* care determină apariția *piping* - ului (tunele de sufoziune). Într-o altă lucrare, Piest et al. (1975b) menționează că *omul* contribuie la dezvoltarea ravenelor prin perturbările locale pe care le creează și prin influența asupra scurgerii. Se arată, de exemplu, că măsurile de conservare a solului duc la creșterea puterii erozive a apelor de suprafață prin reducerea încărcăturii solide. În aceeași idee a influenței antropice, Kosov et al. (1982) analizează dinamica numărului de ravene pe un areal de 6000 km², unde densitatea ravenelor a crescut în relație directă cu despădurirea terenurilor și preluarea lor în circuitul agricol. În sfârșit, Welch (1986) se arată foarte categoric: *din cauza complexității fenomenului, efectul unui singur factor este imposibil de izolat.* După părerea lui, eroziunea în ravene este controlată de o sumă de 6 factori care acționează în interdependență, și anume: *precipitațiile, scurgerea, morfometria reliefului, tipul de sol, utilizarea terenului și stabilitatea malurilor.* Interacțiunea proceselor geomorfologice la variate scări temporale a fost prezentată și de Harvey (1992) ca o cauză care implică numeroși factori de control pentru evoluția sistemului de ravene din NV Angliei.

În încercarea de ordonare a opiniilor și cunoștințelor acumulate, relativ la cauzalitatea fenomenului de ravenație, s-a făcut apel la posibilitatea oferită de Stocking (1981) și argumentată de Nordstrom (1988), de împărțire a factorilor ce afectează eroziunea în ravene și la care ne raliem și noi, ca fiind cea mai apropiată soluție pentru abordarea cauzalității ravenelor. Astfel, acești factori sau variabile sunt împărțiți în:

- *variabile intrinsece*, care există în sistemul geomorfologic (de exemplu, climatul, relieful, roca, vegetație);
- *variabile extrinsece* (de exemplu, suprapășunatul, despădurirea, practicile agricole, drumurile în pantă) care sunt străine sistemului geomorfologic, dar care pot cauza schimbări în acțiunea variabilelor sistemului geomorfologic.

Relațiile între eroziunea accelerată a ravenelor și maniera de combinare a variabilelor intrinsece/extrinsece nu sunt încă pe deplin înțelese. Un model

ipotetic, care încearcă să adune şi să pună în legătură factorii posibili ai eroziunii în ravene, este prezenat în figura 6.1.

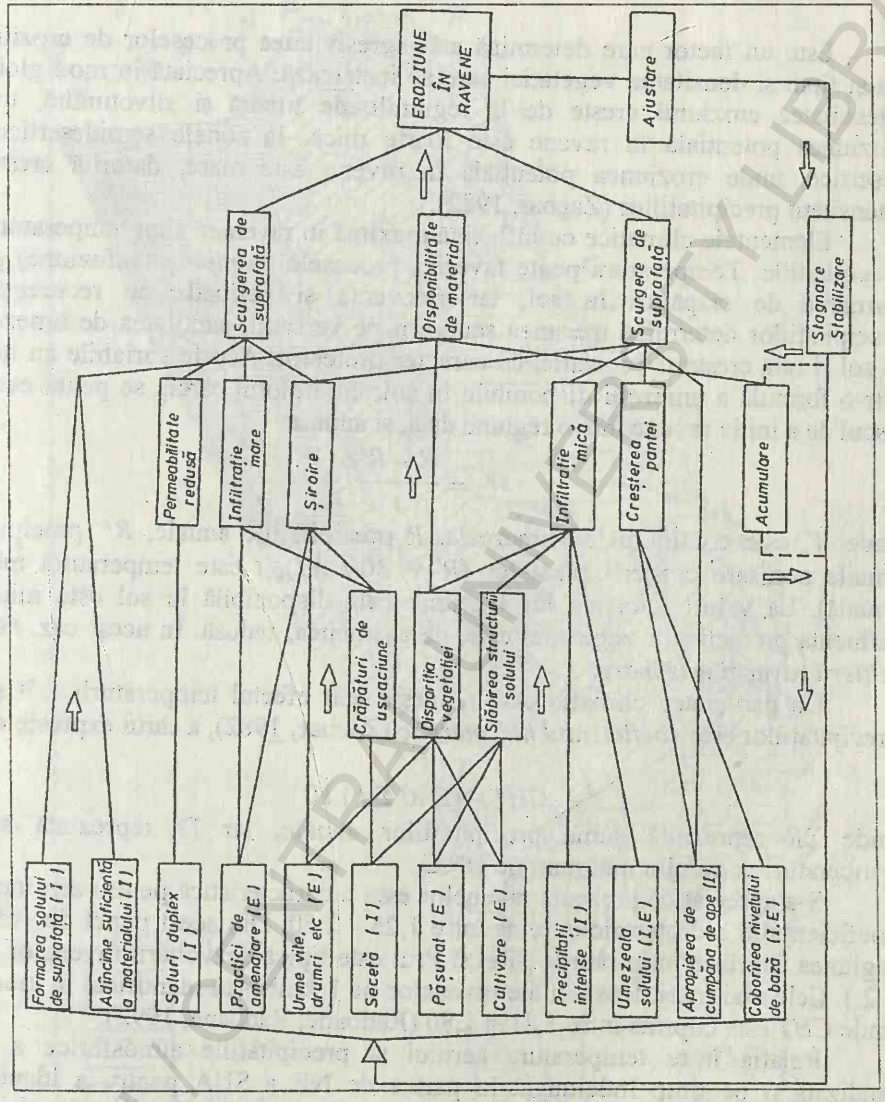


Fig. 6.1. Model ipotetic privind ciclul eroziunii în ravene: *I* - variabile intrinsece; *E* - variabile extrinsece (Nordstrom, 1988).

Mulţimea factorilor de control intrinseci şi extrinseci se combină într-o manieră pe care modelul prezentat o aproximează doar, astfel încât, în final eroziunea în ravene este o expresie a celor două tipuri de scurgere (*de suprafaţă şi de subsuprafaţă*) şi a *naturii depozitelor* asupra cărora acţionează scurgerea.

Urmărind această schemă, vom rezuma, distinct, rolul variabilelor intrinsece şi extrinsece asupra iniţierii şi dezvoltării ravenelor, insistând, în mod special, pe ultimele trei variabile derivate din combinarea efectului primelor variabile din modelul lui Nordstrom (1988).

6.1. Climatul

Este un factor care determină atât agresivitatea proceselor de eroziune, cât şi tipul şi densitatea vegetaţiei care se instalează. Apreciată în mod global, intensitatea eroziunii creşte de la regiunile de tundră şi silvotundră, unde eroziunea potenţială în ravene este foarte mică, la zonele semideşertice şi deşertice, unde eroziunea potenţială în ravene este mare, datorită creşterii intensităţii precipitaţiilor (Zachar, 1982).

Elementele climatice cu influenţă maximă în ravenare sunt temperatura şi precipitaţiile. Temperatura poate favoriza procesele de *piping* (sufoziune) prin formarea de crăpături în sol, iar frecvenţa şi perioada de recurenţă a precipitaţiilor determină mărimea scurgerii pe versanţi, cantitatea de umezeală în sol şi rata creşterii vegetaţiei cu caracter protector. Aceste variabile au intrat într-o formulă a umezelii disponibile în sol, cu ajutorul căreia se poate evalua riscul de a iniţia ravene într-o regiune dată, şi anume:

$$W_s = \frac{R - R'}{t}$$

unde W_s este conţinutul de umezeală, R precipitaţiile anuale, R' precipitaţii anuale necesare creşterii plantelor ($R' = 30(t + 7)$; t este temperatură medie anuală). La valori mici ale lui W_s, umezeala disponibilă în sol este mică şi influenţa protectivă a vegetaţiei este, de asemenea, redusă. În acest caz, *riscul iniţierii ravenei este mare.*

Un parametru climatic care reuneşte atât efectul temperaturii, cât şi al precipitaţiilor este *coeficientul hidrotermic* (Zachar, 1982), a cărui expresie este:

$$CHT = (\Sigma R / \Sigma t)\ 10$$

unde ΣR reprezintă suma precipitaţiilor anuale, iar Σt reprezintă suma temperaturilor aerului mai mari de 10° C.

S-a apreciat că prezenţa ravenelor este o caracteristică pentru arii incluse coeficientului hidrotermic cuprins între 1,25 - 2,50. Din acest punct de vedere, regiunea cuprinsă între râurile Siret şi Prut este tipică dezvoltării ravenelor (fig. 6.2.). Cele mai mari densităţi ale ravenelor pe 1 km² s-au identificat în arealele unde *CHT* este cuprins între 1,21 şi 1,80 (Rădoane, Rădoane, 1992).

Relaţia între temperatura aerului şi precipitaţiile atmosferice a fost analizată şi pe timp îndelungat în partea de NE a SUA pentru a identifica perioadele de maximă favorabilitate a instalării formaţiunilor de adâncime în această zonă (Burkard şi Kostaschuk, 1995). Datele climatice înregistrate pentru zona de NE a SUA sunt similare ca variaţie cu cele din Europa. Astfel, la sfârşitul Micii Glaciaţii (care s-a produs acum 500-200 ani) a avut loc o scădere extremă a temperaturii aerului (între anii 1810 şi 1835), după care aceasta creşte gradual până în 1950.

In ceea ce priveşte variaţia pe timp lung a precipitaţiilor, acestea cresc între 1850 şi 1870, după care tendinţa este de reducere (fig. 6.3). În această situaţie, concluzia este unanimă: *vulnerabilitatea terenurilor la eroziunea în ravene în condiţiile climatului temperat oceanic şi continental a crescut necontenit din 1950 încoace.*

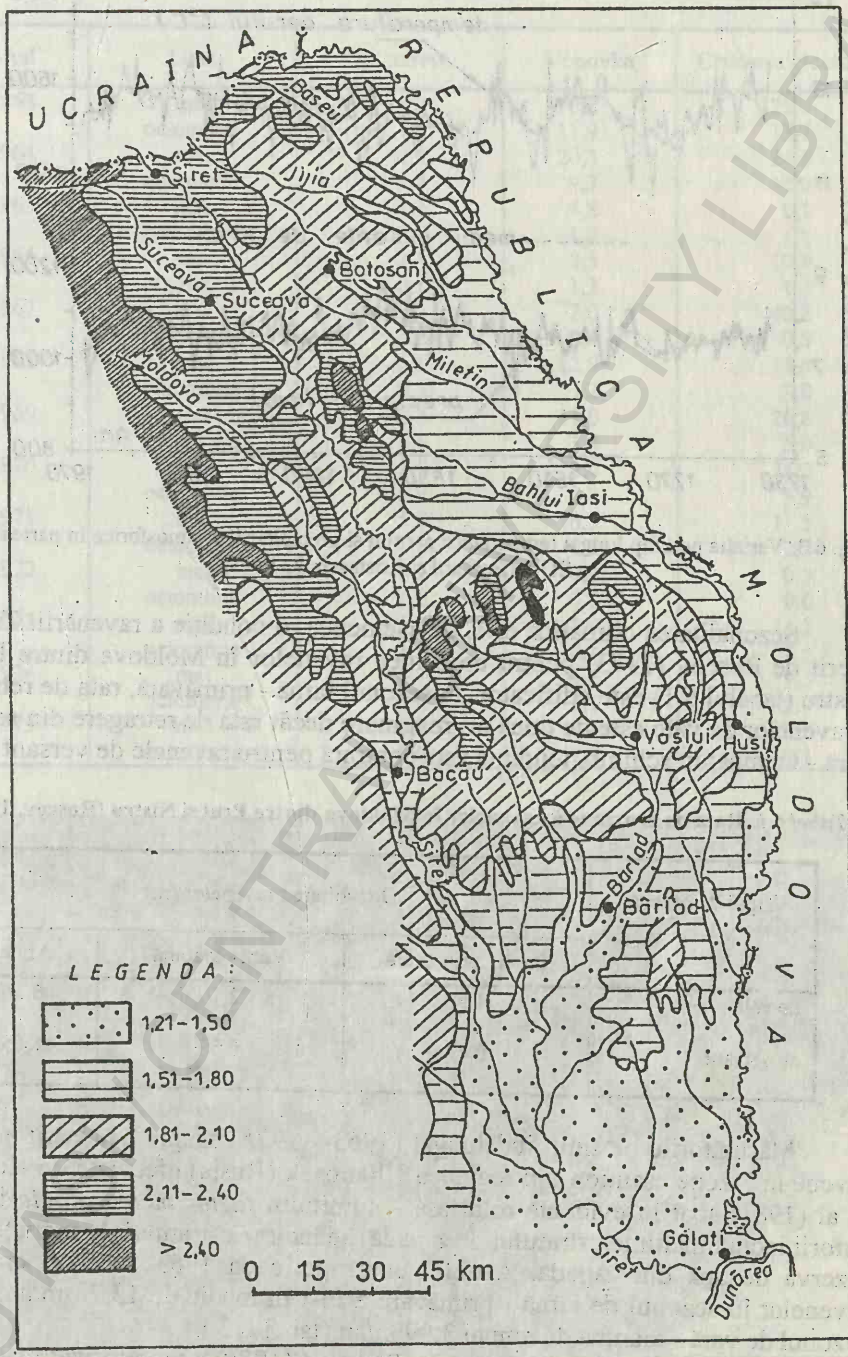


Fig. 6.2. Variația coeficientului hidrotermic în teritoriul dintre râurile Siret și Prut.

BCU IAȘI CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

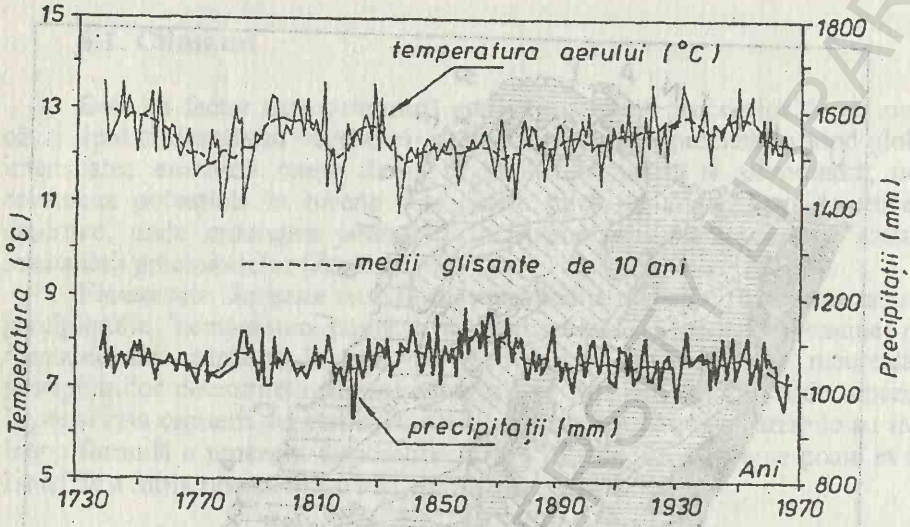


Fig. 6.3. Variația pe timp lung a temperaturii aerului și precipitațiilor atmosferice în partea de NE a SUA (Burkard și Kostaschuk, 1995).

Sezonalitatea climatică este, de asemenea, o condiție a ravenării. Tabloul oferit de Roșcov (1973) pentru eroziunea ravenelor în Moldova dintre Prut și Nistru (tabelul 6.1) este edificator. În sezonul iarnă - primăvară, rata de retragere a ravenelor de vale este de două ori mai mare decât rata de retragere din sezonul vară - toamnă; în schimb, tendința este contrară pentru ravenele de versant.

Tabel 6.1. **Rata de eroziune a ravenelor în Moldova dintre Prut și Nistru (Roșcov, 1973)**

Tipul de ravenă	Dezvoltarea ravenelor (m)		
	Iarnă - primăvară	Vară - toamnă	Anual
de vale	4,55	2,16	6,36
de versant	0,49	0,56	1,05

Măsurătorile pe timp îndelungat (1963 - 1975) asupra avansării a 56 de ravene în 7 zone eșantion din regiunea Ulianovsk (Rusia) efectuate de Korotina et al (1981) scot în evidență rolul așa - numitului *factor meteorologic* în care autorii includ înălțimea stratului de zăpadă, adâncimea stratului de îngheț în sol, rezerva de apă din zăpadă. Astfel, pentru perioada 1963 – 1975, creșterea ravenelor în sezonul de iarnă - primăvară a fost în medie de 13,73 m/an, iar în sezonul de vară - toamnă de numai 3,99 m/an (tabel 6.2.).

În bazinul pârâului Pângărați N. Rădoane (1980) a monitorizat mai multe ogașe și ravene (cu adâncimi cuprinse între 1 și 3 m) care au apărut, în cele mai multe cazuri, ca efect al folosirii drumurilor și potecilor amplasate în lungul versantului. Una din aceste forme de relief este prezentată în foto 6.1.

Tabel 6.2. **Creşterea sezonieră a ravenelor în m/an (Korotina et al., 1981)**

Anul	Luna	Ulianovsk	Vonovka	Creşterea globală
1963	mai	5,2	19,8	25,0
	octombrie	1,8	11,9	13,7
1964	mai	4,3	20,3	24,6
	octombrie	3,2	9,3	12,9
1965	mai	1,3	4,8	6,1
	octombrie	0,4	1,2	1,6
1966	mai	2,4	8,5	10,9
	octombrie	0,1	1,2	1,3
1967	mai	3,2	7,0	10,2
	octombrie	0,1	0,4	0,5
1968	mai	5,6	12,9	18,5
	octombrie	0,6	3,2	3,8
1969	mai	9,8	11,0	20,8
	octombrie	1,6	3,4	5,0
1970	mai	11,6	12,4	24,0
	octombrie	1,9	4,0	5,9
1971	mai	5,0	6,5	11,5
	octombrie	1,0	1,7	2,7
1972	mai	0,2	0,3	0,5
	octombrie	0,0	0,0	0,0
1973	mai	5,3	5,9	11,2
	octombrie	1,2	0,3	1,5
1974	mai	0,7	5,6	9,3
	octombrie	0,8	1,1	1,9
1975	mai	0,7	5,3	6,0
	octombrie	0,0	1,1	1,1

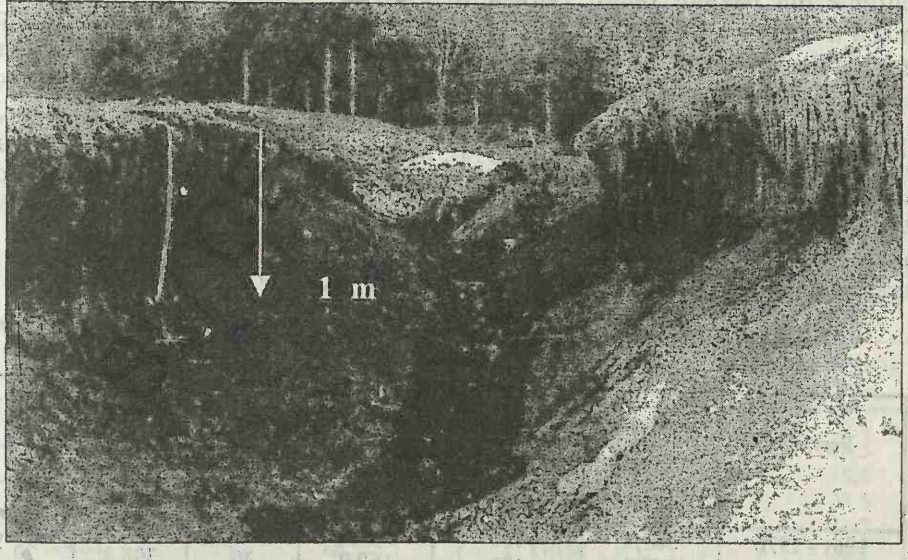


Foto 6.1. Efectul sezonalităţii asupra evoluţiei secţiunii transversale a unei ravene din bazinul Pângăraţi; înălţimea malului în surplombă este de circa 1 m; pe fundul ravenei depozitele sunt umezite din cauza fenomenului de *seepage* (foto N. Rădoane).

Din 1976 s-au marcat cu picheți metalici profile transversale pe care s-au realizat câte două măsurători topografice pe an (primăvara și toamna) (tabel 6.3). În sezonul rece ravena se lărgește cu 18,6 cm/an, iar în sezonul cald ravena se adâncește cu 26,4 cm/an. Sezonul cald este cel mai efectiv în evoluția ravenelor, așa după cum se constată din compararea volumelor de depozite erodate din secțiunea transversală a ravenei. Sezonul rece rămâne important în pregătirea materialului ce se va îndepărta în sezonul cald.

Tabel 6.3. **Evaluarea modificărilor în profilul transversal al unei ravene tipice din bazinul r. Pângarați (N. Rădoane, 1988)**

Perioada	Supraînălțare/Adâncire (cm)	Lărgire (cm)	Volum erodat/Volum acumulat (mc)
6.04.1976-17.09.1976	0/50	40	0,509 / 0
17.09.1976-23.03.1977	38/0	28	0,209 / 0,236
23.03.1977-17.09.1977	0/42	18	0,463 / 0
17.09.1977-14.04.1978	32/0	20	0,155 / 0,215
14.04.1978-12.12.1978	0/46	0	0,482 / 0
12.12.1978-25.04.1979	44/0	16	0,202 / 0,369
25.04.1979-20.11.1979	0/43	7	0,519 / 0
20.11.1979-23.04.1980	38/0	38	0,265 / 0,344
23.04.1980-11.09.1981	0/10	28	0,441 / 0
11.09.1981-11.05.1982	32/0	30	0,213 / 0,427
Media	18,6/26,4	22.5	0,482 / 0,208

Sezonalitatea care determină un anumit regim pluviometric a fost considerat un factor determinant de către Ioniță (1998) pentru evoluția ravenelor continue din bazinul râului Bârlad. În perioada 1961-1990 valoarea medie anuală a cantității de precipitații la Bârlad a fost de 523,3 mm, repartizată pe cele trei decade astfel: 581,7 mm în anii '60, 568,7 mm în anii '70 și 419,4 mm în anii '80 (tabel 6.4). O primă observație în legătură cu acest tabel este faptul că în deceniile '60 și '70 valorile sunt apropiate: prima depășește media cu 58,4 mm (11%), iar a doua cu 45,4 mm (9%), în schimb deceniul '80 a fost cu mult mai secetos. Dar ceea ce se diferențiază și mai clar în lunga perioada de timp de observații este modul de distribuție a precipitațiilor. Astfel, sezonul octombrie-martie a contribuit la formarea cantității medii anuale de precipitații cu o pondere de 38% (222,6 mm) în anii '60 și cu 30% (169,9 mm) în anii '70.

Tabel 6.4. **Regimul precipitațiilor medii sezoniere și anuale la Bârlad, în perioada 1961 - 1990 (Ioniță, 1998)**

Perioada	Cantitatea totală de precipitații (mm)					
	Totală		X - III		IV - IX	
	mm	%	mm	%	mm	%
1961 - 1970	581,7	100	222,6	38	359,2	62
1971 - 1980	568,7	100	169,9	30	398,8	70
1981 - 1990	419,4	100	135,6	32	283,8	68
Media	523,3	100	176,0	34	347,3	66

Sezonul aprilie - septembrie deține ponderea majoritară, în medie 66% din valoarea medie anuală de precipitații. În anii '60 această pondere a fost de 62% (359,2 mm), iar în anii '70 de 70% (398,8 mm). În acest sezon se resimte însă puternic influența stadiului de dezvoltare a vegetației asupra intercepției și consumului apei provenite din precipitații. Concluzia autorului este că: pe fondul ploios din anii 1961 - 1980, umezirea mai consistentă a solului din intervalul octombrie - martie a fost decisivă pentru ravenarea remarcabilă din perioada 1961 - 1970.

În partea de est a Câmpiei Ruse, circa 70 - 80% din creșterea anuală a ravenelor are loc în timpul primăverii, restul fiind condiționat de efectul precipitațiilor abundente (Butakov et al., 1991). Se poate concluziona, utilizând aceste informații, că sezonalitatea controlează, în special, ratele de evoluție a ravenelor, după ce ele au fost inițiate deja și există mai puțină informație asupra modului cum sezonalitatea determină inițierea acestor forme de relief. Am putea, totuși, deduce că sezonul cu vegetație mai puțin abundentă este cel în care probabilitatea formării ravenelor este maximă.

6.2. Relieful

Rolul pe care îl are relieful în eroziunea în ravene este cel mai bine ilustrat de relațiile cu panta, lungimea și orientarea versantului, suprafața bazinului de drenaj și distanța până la cumpăna de ape. Cercetările geomorfologice în teritoriul dintre râurile Siret și Prut (Rădoane et al., 1995) a arătat că arealele cu cea mai mare susceptibilitate la inițierea ravenelor se află la intersecția următorilor factori:

- orientarea verrsanților spre NE și SV (versanții văilor consecvente),
- panta versanților între 20 - 30%,
- lungimea versanților între 300 - 500 m,
- litologia dominant nisipoasă.

În Slovacia cele mai multe ravene (peste 90%) se întâlnesc pe pante de 2 - 15°(Zachar, 1982). Dependența eroziunii în ravene de unghiul de înclinare și lungimea pantei este prezentată în tabelul 6.5 și în figura 6.3.

Tabel 6.5. **Date asupra ravenelor pe o parcelă cu lățime de 100 m și lungime de 160 m pe luturi loessoide (Zachar, 1982)**

Unghiul de înclinare a pantei (grade)	Numărul de ravene	Îndepărtarea solului (mm)	Suprafața acoperită de ravene (%)
4,34	4	11,0	8,1
6,53	9	35,7	16,5
8,21	9	49,4	18,6
10,06	10	68,8	23,6
10,54	11	121,0	24,2
14,52	12	176,9	28,2
9,18	12	174,3	29,0
8,02	5	22,4	10,4
9,02	12	91,8	21,5

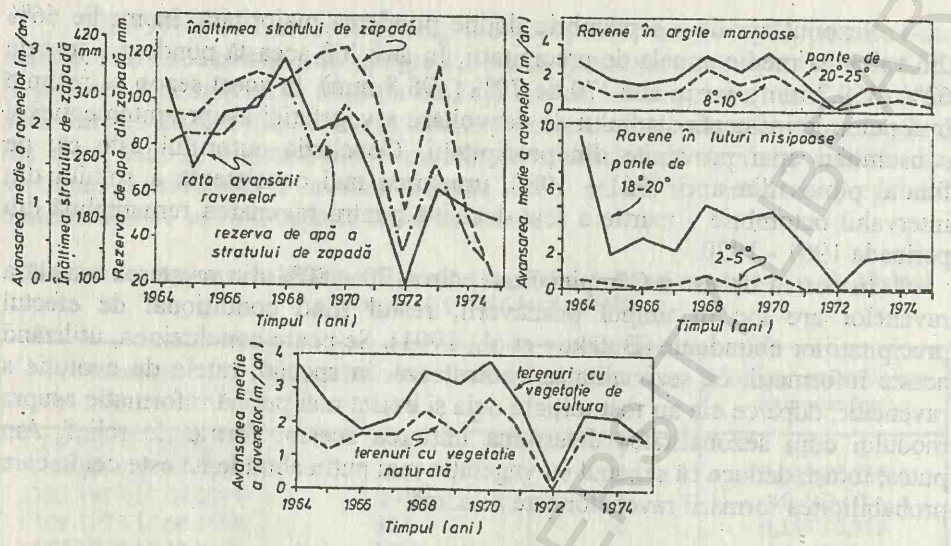


Fig. 6.3. Efectul unor factori de control în dinamica ravenelor din Câmpia Rusă (Korotina et al., 1981).

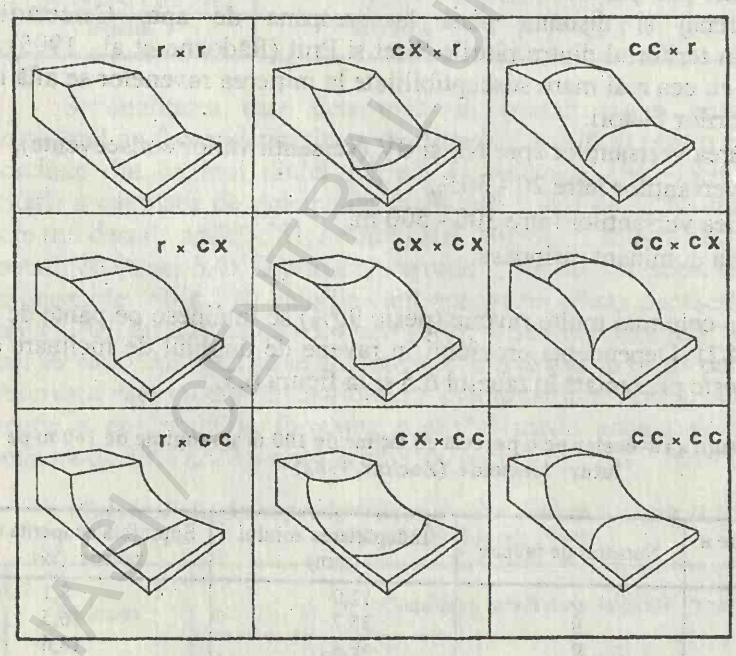


Fig. 6.4. Geometria segmentelor de versant: r – rectiliniar; cx – convex; cc – concav (linia curbei de nivel × linia profilului) (De Oliveira, 1990).

Panta versantului determină rata de avansare a ravenelor în relație strânsă și cu alcătuirea litologică a substratului (Korotina et al., 1981). De exemplu, pentru ravenele adâncite în argile marnoase, ratele de avansare de 2 - 4 m/an au fost măsurate pe pante de 20 - 25°, în schimb, pe pante de 8 - 10°, ratele de avansare au fost sub 2 m/an. Pentru ravenele adâncite în luturi nisipoase, ratele de avansare sunt, în medie, de 5 m/an, iar pe pante de 2 - 5°, ratele de avansare

sunt sub 1m/an (fig. 6.3.).

Inventarierea a 106 ravene din zona Sao Paolo, Brazilia (De Oliveira, 1990) pe o suprafață de 2095 km² a scos în evidență printre altele, rolul geometriei versantului în inițierea ravenelor, evoluția, distribuția spațială și morfologia ravenelor. Zona studiată aparține climatului tropical, aceasta fiind complet despădurită în secolul al XVIII-lea.

Până în 1930 solul a fost intens exploatat pentru culturi de cafea, apoi pentru păşunat extensiv, responsabil în parte de dezvoltarea eroziunii în ravene din timpurile recente. Geometria segmentelor profilelor de versant a fost apreciată pe baza schemei din fig. 6.4, deosebindu-se nouă combinații ale segmentelor de versant rectiliniare (r), convexe (cx) și concave (cv). Histograma distribuției frecvențelor acestor tipuri de versant (fig. 6.5) arată că 61,5% din versanți au morfologie convexă (cx/cx), în timp ce morfologia concavă (cv/cv) reprezintă doar 28% din totalul zonei investigate.

Frecvența segmentelor de versant afectate de eroziunea în ravene (fig. 6.6) arată că 70,6% din ravenele investigate sunt inițiate pe versanții concavi (cv/cv). In ciuda marii reprezentativități a versanților convecși (cx/cx), numai 10,4% din aceștia sunt afectați de eroziunea în ravene. Ocurența ravenelor pe versanții concavi se datorește faptului că aici are loc concentrarea liniilor de drenaj ale apelor de suprafață, inițiatoare de eroziune liniară.

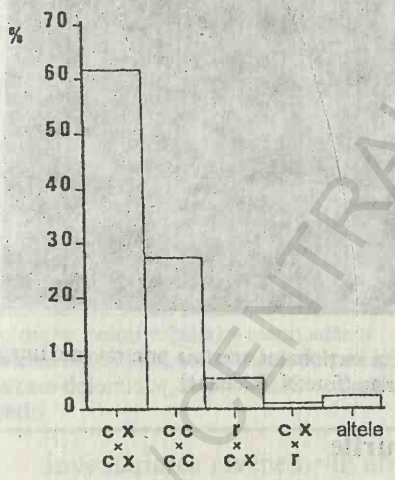


Fig. 6.5. Frecvența segmentelor de versant (De Oliveira, 1990).

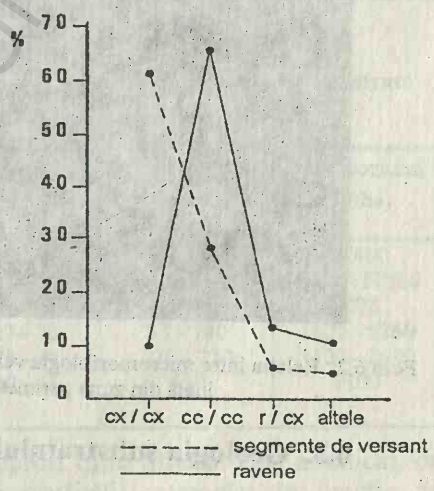


Fig. 6.6. Relația între frecvența segmentelor de versant și a ravenelor pe segmentele respective (De Oliveira, 1990).

În consecință, concentrarea ravenelor pe versanții concavi nu poate fi socotit un fenomen aleatoriu. Interpretarea acestei situații relativ paradoxale este pusă de autor pe seama dezvoltării unei mantale coluviale discontinue (așa-numita "rampas de coluvio"), care favorizează scurgerea de subsuprafață și apariția *piping*-ului.

La o concluzie asemănătoare ajunge și Haigh (1981) care arată că în domeniul versantului există două zone favorabile inițierii ravenelor: una la baza convexității superioare și alta la vârful concavității inferioare.

Dimensiunea și forma bazinelor hidrografice pot influența suprafața deasupra vârfului ravenei și, în consecință, cantitatea scurgerii colectate la fiecare vârf de ravenă. Mai departe, ravena se extinde către cumpăna de ape, pantele devin mult mai înclinate deasupra pragului de obârșie și scurgerea colectată la vârf devine mult mai erozivă. Această observație, precum și alte opinii exprimate în literatura de specialitate impun concluzia că *suprafața bazinului (adică suprafața de drenaj deasupra fiecărui vârf de ravenă) este unul din cei mai importanți factori geomorfologici în determinarea ratei de ravenare.* Acesta a fost motivul pentru care variabila a intrat în numeroase modele de calcul a avansării ravenelor (Thompson, 1964; Seginer, 1966; Stocking, 1981; Welch, 1986; Zorina et al., 1988; De Ploey, 1991; Rădoane et al., 1995).

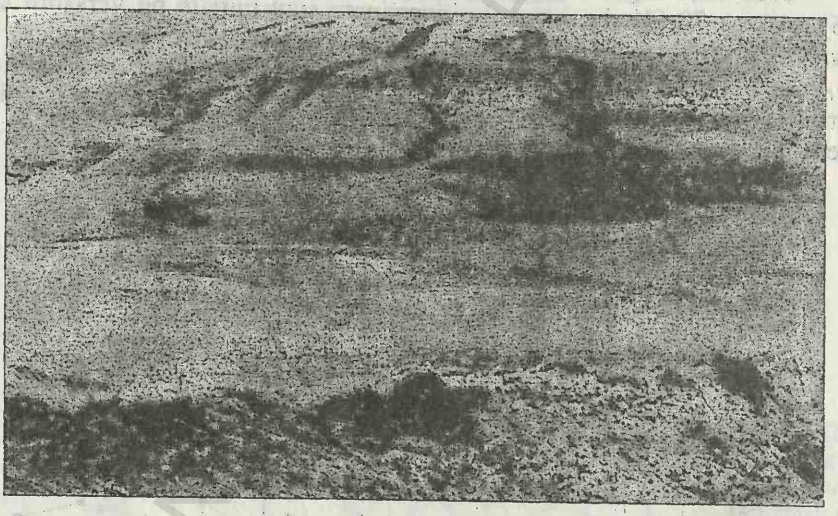


Foto 6.2. Relația între micromorfologia versantului și secționarea acestuia prin ravene. Imagine luată din zona perimetrului Hârlău (foto N. Rădoane).

6.3. Geologia substratului și solurile

Tipul rocii *in situ* afectează eroziunea în ravene, indirect, prin influența ei asupra formării regolitului și solului. De asemenea, suprafața rocii *in situ* poate acționa ca un strat impermeabil și poate iniția fenomenele de *seepage* și de *piping*. În plus, dacă adâncirea într-o ravenă a atins roca *in situ* și aceasta este rezistentă la eroziune, adâncirea ulterioară a ravenei este restrictivă. Ravenele care au atins roca *in situ* conțin puțin sau deloc material erodat de-a lungul lor, indicând capacități mari de transport ale scurgerilor. De asemenea, rugozitatea suprafeței rocii *in situ* este, de regulă, mult mai redusă decât a solului, ceea ce conduce la creșterea vitezei și erozivității scurgerii. Acolo unde roca în loc este expusă pe fundul unei ravene, procesele de eroziune a malurilor sunt foarte eficace.

Nu numai rezistența rocii *in situ* poate influența inițierea și eroziunea ravenei, dar și dispunerea stratelor geologice poate fi favorizantă într-o măsură apreciabilă. Statistica repartiției ravenelor în Podișul Moldovei a demonstrat clar acest lucru: versanții consecvenți sunt cei mai predispuși la ravenare (Rădoane, Rădoane, 1992).

Caracteristicile solului dintr-un areal dat afectează rata eroziunii terenurilor în mai multe moduri. Un sol compact, argilos, nu favorizează infiltrația, dar este relativ rezistent la eroziunea în suprafață. Invers, un sol nisipos, necoeziv, favorizează infiltrația, dar este ușor erodat dacă scurgerea este suficient de erozivă. Ratele medii de avansare a ravenelor din zona Ulianovsk, Rusia confirmă această influență a caracteristicilor texturale ale solurilor (a se vedea fig. 6.3.).

De asemenea, se apreciază că unele dintre cele mai erodabile soluri sunt așa - numitele "soluri duplex" (Faber, Imerson, 1982) care au un orizont superior cu alcătuire granulometrică predominant nisipoasă și unul inferior, mai fin, mai argilos. Diferența de permeabilitate a celor două orizonturi oferă condiții propice dezvoltării *piping* - ului care este un proces important de inițiere a ravenelor.

În funcție de tipul de sol și depozit parental, intensitatea eroziunii în ravene descrește în direcția: sol peste substrat nisipos → sol peste loess → sol peste substrat argilos → soluri scheletice. Această observație are la bază datele asupra eroziunii în ravene din Slovacia (tabel 6.6.).

Tabel 6.6. **Date asupra eroziunii în ravene din Slovacia pentru diferite substrate litologice (Zachar, 1982)**

Substratul geologic Solul	Panta (grade)	Lungimea pantei (m)	Rata eroziunii (m^3/ha)
Gresii, sol nisipos	2 - 8	200 - 1940	16 400
Andezite, lut loessoid	3- 15	88	6600 - 10560
Gresii de fliș, soluri scheletice subțiri	6 - 20	100 - 250	1073
Dolomite, soluri scheletice medii adânci	27 - 30	53 - 140	1620 - 5360
Calcare dolomitice, soluri scheletice subțiri	25 - 30	120 - 230	1120 - 2640
Calcare dolomitice, soluri scheletice foarte subțiri	30 - 38	450	1100

Inventarierea ravenelor în arealul cuprins între Siret și Prut a indicat, de asemenea, o dependență a numărului și densității ravenelor în funcție de creșterea conținutului de nisip din depozitele în care acestea se adâncesc (Rădoane, Rădoane, 1992).

6.4. Cauze antropice

Efectul antropic în inițierea și dezvoltarea ravenelor a fost izolat ca un factor de control determinant de majoritatea cercetătorilor; acest factor include îndepărtarea vegetației și despădurirea (Ireland et al., 1939; Tuckfield, 1964; Zorina et al., 1975), suprapășunatul (Cooke și Reeves, 1976; Wells și Andriamihaja, 1993), construcția de canale și diguri (Haigh, 1990), construcția de drumuri de câmp și forestiere (Radoane, 1986, 1988).

Un accent deosebit asupra cauzelor antropice este pus de către autorii americani (Hadley et al.,1985; Burkard şi Kostaschuk, 1995); ei consideră că îndepărtarea vegetaţiei prin despădurire, practici agricole şi suprapăşunat a fost factorul declanşator al instabilităţii terenurilor din variate zone ale continentului american la sfârşitul secolului trecut şi începutul secolului nostru. De exemplu, cele mai multe din ravenele existente în zona Lacului Huron (peste 100 pe o suprafaţă de cca 150 km²), au fost iniţiate între 1860 şi 1900. Anterior, zona era acoperită cu pădure de arţar. Apariţia şi extinderea aşezărilor omeneşti între 1830 şi 1880 s-a resimţit în despădurire şi o redirecţionare a drenajului prin şanţurile rezultate din practicile agricole. Dezvoltarea ravenelor ca suprafaţă (fig. 6.7 A) şi lungime (fig. 6.7 B) este un rezultat direct al îndepărtării vegetaţiei şi extinderii aşezărilor omeneşti. Determinările statistice au arătat că timpul estimativ de iniţiere a ravenelor a fost 1810 - 1880, perioadă când peste 56% din suprafaţa de pădure a fost complet îndepărtată şi regiunea populată cu peste 3000 locuitori (Burkard şi Kostaschuk, 1995).

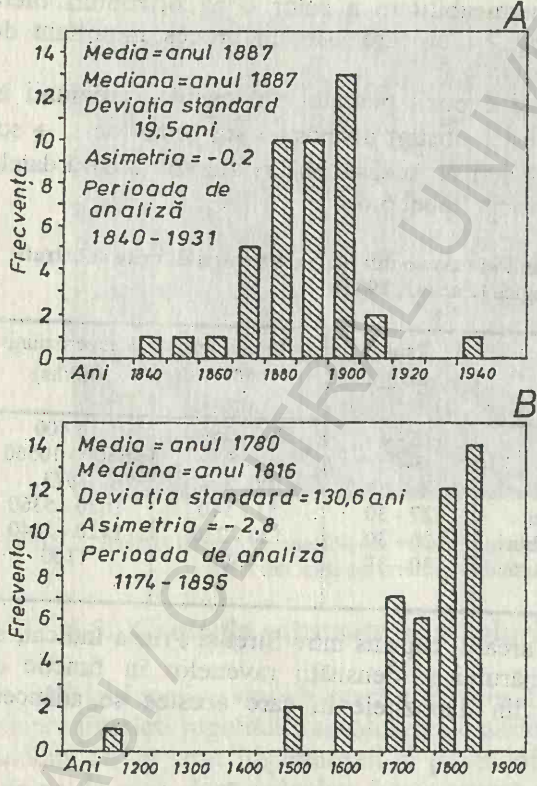


Fig. 6.7. Frecvenţa datelor estimative de iniţiere a ravenelor în zona ţărmului Lacului Huron, Canada pe baza analizei datelor de dezvoltare areală (*A*) şi liniară (*B*) a ravenelor (Burkard şi Kostaschuk, 1995).

În altă zonă a Globului, partea de est a Câmpiei Ruse, unde se apreciază că ravenaţia este procesul geomorfologic dominant, densitatea ravenelor este în strânsă corelaţie cu densitatea populaţiei (Boiko et al., 1991). Funcţiile economice ale societăţii (despădurirea, desţelenirea, suprapăşunatul, construirea drumurilor în pantă, activităţile forestiere, irigaţiile) sunt cauzele ravenaţiei intense în această zonă. Kosov (1970) stabileşte o scală procentuală a acestor cauze, arătând că pentru o zonă de 6000 km², 75 % din iniţierea ravenelor este

cauzată de practici agricole greșite, 15% de drumurile de țară, forestiere și din jurul așezărilor, 10% de activitățile forestiere și 5% de irigații.

În domeniul forestier, drumurile în pantă și liniile de transport ale bușteni favorizează rapid dezvoltarea celor mai lungi ravene. De exemplu, în bazinele Pângarați și Oanțu a fost înregistrată o densitate de 2 km/km² drumuri, din care 80% sunt drumuri forestiere. Degradarea lor este accentuată în primii ani de la darea în folosință, perioadă care corespunde și cu transportul cel mai intens de bușteni. În ansamblu, numai prin eroziunea drumurilor sunt evacuate în afara celor două bazine 20 – 30% din aluviunile ce intră în sistemul de albii (Rădoane, 1987).

Revenind la tabloul factorilor de control propus de Nordstrom (1988) se impune să insistăm în continuare asupra factorilor de control rezultați din combinarea variabilelor intrinsece și extrinsece, și anume mecanismul de inițiere a ravenelor determinat de scurgerea de suprafață și subsuprafață la contactul cu natura solului afectat.

6.5. Efectul scurgerii de suprafață

Scurgerea în suprafață este, în principal, responsabilă de următoarele procese de eroziune a ravenelor (Ireland et al., 1939, cit. Schumm et al., 1984):

1. inițierea ravenei și adâncirea ei prin eroziune liniară;
2. subminarea malurilor ravenei de către scurgerea de pe fundul ravenei;
3. avansarea vârfului ravenei datorită eroziunii regresive a "saltului hidraulic" în zona pragului de obârșie.

Cercetări detaliate asupra efectului scurgerii de suprafață au fost realizate în cadrul Laboratorului de Geomorfologie Experimentală de la Leuven, Belgia (De Ploey, 1988; Poesen, 1988, Poesen, Govers, 1990, etc). Interesul deosebit pentru cunoașterea condițiilor de inițiere a ravenelor efemere și permanente rezidă din faptul că aceste procese geomorfologice au cea mai mare pondere în degradarea solului din Belgia, afectând 60 -80% din regiunea *loam*-urilor belgiene.

Faza de inițiere a ravenelor este dată de *rill* - uri sau ravene efemere acolo unde scurgerea de suprafață se concentrează pe suprafețele de teren, fie în rețeaua de drenaj natural (talvegurile bazinelor de ordinul 0), fie de-a lungul elementelor liniare de drenaj (haturi, drumuri, drumuri de tractor, cărări de animale ș. a.). O bună înțelegere a condițiilor pentru inițierea rigolelor sau a ravenelor efemere este adesea crucială pentru înțelegerea genezei ravenelor.

Geneza unei rigole (*rill*) este controlată de raportul dintre forțele scurgerii areolare și forțele de rezistență ale solului (Bradford et al., 1980; Foster, Lane, 1983; Thorne et al., 1986; Poesen, 1988). Există mai multe măsuri pentru a exprima intensitatea scurgerii areolare: viteza medie (u), forța tractivă (τ), puterea curentului de apă ($\rho g \rho_s$; unde ρ este densitatea apei, ρ_s densitatea amestecului apă - sediment, g accelerația gravitațională). Govers (1985) a constatat că, pentru declașarea eroziunii într-o rigolă (*rill*) pe soluri lutoase și nisipoase, condițiile de curgere pot fi exprimate de viteza de forfecare a curgerii (U_*):

$$U_* = \sqrt{gRS} \qquad (6.1.)$$

S-a observat că pentru $U_* < 3$ cm/s, curgerea este de tip areolar, iar pentru $U_* > 3$ cm/s, curgerea este concentrată într-o rigolă. Aşadar, valoarea prag pentru declanşarea eroziunii în rigole este condiţia:

$$U_* \approx 3 - 3{,}5 \text{ cm/s} \qquad (6.2.)$$

Concluzia a primit susţinere experimentală prin cercetările lui Savat şi De Ploey (1982) care au arătat că eroziunea în rigole începe cel mai adesea pe pante egale sau mai mari de 2 - 3°. Pe o asemenea pantă, într-o rigolă tipică se formează un debit unitar de 5 - 15 cm³/cm/s care corespunde unei viteze de forfecare de 3 - 3,5 cm/s.

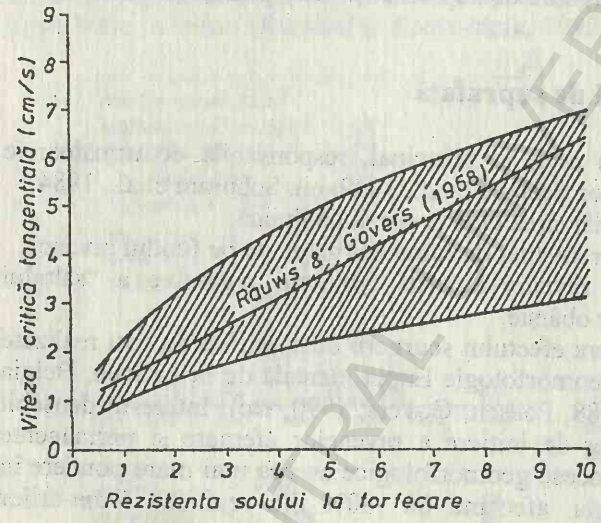


Fig. 6.8. Viteza de forfecare critică a curgerii pentru ravenaţie incipientă ca funcţie a rezistenţei de forfecare a stratului de sol de la suprafaţă (Torri et al., 1987; Rauws şi Govers, 1988).

În cazul solurilor mult mai coezive ar fi de aşteptat ca viteza critică de forfecare să fie mai mare de 3 cm/s. După Torri et al. (1987), iniţierea rigolelor are loc dacă (fig. 6.8):

$$\frac{\tau}{c} \geq a \qquad (6.3.)$$

unde τ reprezintă forţa de forfecare a curgerii ($= \rho gRS$; R fiind raza hidraulică medie a curentului iar S, gradientul pantei); c este rezistenţa la forfecare a stratului de sol (m/kg/s²); a, o constantă între 0,0001 şi 0,0005.

Atunci când $\tau = \rho U_*^2$, condiţiile critice pentru începerea formării rigolelor pot fi reformulate ca:

$$U_* = \sqrt{a\frac{c}{\rho}} \qquad (6.4.)$$

unde U_* exprimat în m/s, c în Pa(m/kg/s²) iar ρ în kg/m³.

Relația între U_* critică și c a fost investigată în detaliu de Rauws și Govers (1988) care au găsit următoarea relație (fig. 6.8.):

$$U_* = 0{,}89 + 0{,}56c \qquad (6.5.)$$

Modelul conceptual ce exprimă potențialul de formare a unei rigole într-un sol dat ca funcție a raportului dintre forța de forfecare și rezistența la forfecare este foarte folositor când se explică relația dintre granulometria solului și erodabilitatea *rill - interrill*. Figura 6.9. arată relația dintre dimensiunea mediei geometrice a particulelor de sol (D^*_g, în concepția Shirazi, Boersma,1984) și erodabilitate *rill - interrill* (K, în concepția Wishmeyer, Smith, 1978).

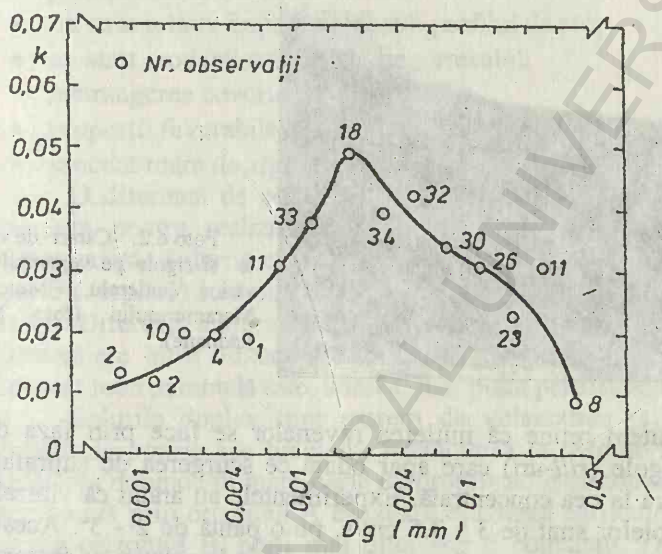


Fig. 6.9. Relația între media geometrică a particulei (*D*g definit de Shirazi, Boersma, 1984) și factorul mediu de erodabilitate "*rill - interill*", *K*, (USLE, Wishmeier, Smith, 1978).

Datele folosite în construirea acestei relații provin din măsurătorile efectuate pe parcele experimentale din diferite părțI ale lumii, colectate de Poesen (1988). După McCool și Genge (1983 în Poesen, 1988), 75% din pierderea de sol de pe parcele are loc în zona de formare a *rill*-urilor, iar 25% în zonele de *interrill* – uri.

De exemplu, pentru solurile argiloase, soluri care au D_g mai mic de 0,016 mm, raportul τ/c (ecuația 6.3.) este mai mic din cauza valorilor mari de rezintență la forfecare a solurilor. În plus, dacă argila nu este de natură dispersivă, aceste soluri pot absorbi un procent însemnat din precipitații, determinând o curgere redusă și, implicit, o forță de forfecare redusă.

* Media geometrică este egală cu antilogaritmul mediei aritmetice a logaritmilor valorilor seriei. De exemplu, D_g= antilog($\Sigma \log D_i/n$); unde D_i este diametrul mediu al particulelor unei probe, iar n, numărul de probe.

BCU CENTRALA UNIVERSITARA

Odată cu creşterea mediei geometrice a particulelor de sol, erodabilitatea datorată iniţierii rigolelor (*rill* -urilor) creşte, deoarece creşte şi τ/c. Coeziunea în aceste soluri este, de obicei, mai mică decât coeziunea în solurile argiloase.

În plus, dacă aceste soluri au materie organică puţină ele sunt susceptibile la compactare, ceea ce conduce la o creştere a scurgerii lichide şi, implicit, la o mărire a forţei de forfecare a acesteia.

O erodabilitate maximă, datorată iniţierii rigolelor a fost observată când $D_g \approx 0{,}016$ - $0{,}025$ mm (fig. 6.9.). Odată cu creşterea lui D_g, factorul de erodabilitate K scade, ceea ce conduce mai departe la descreşterea valorii parametrului c. Aceasta nu poate fi explicată dacât printr-o creştere a ratei de infiltraţie ce duce la o descreştere a volumului curgerii şi la o descreştere a forţei de forfecare a curgerii.

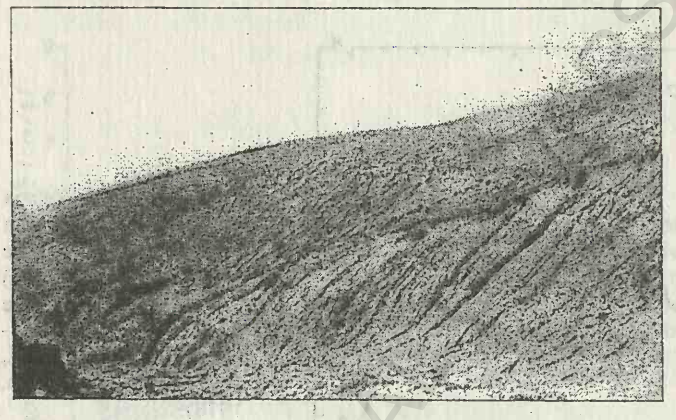


Foto 6.2. Cărări de vite şi rigole pe versantul văii Vinderelu, Munţii Maramureşului (foto N. Rădoane).

In concluzie, putem reţine că iniţierea ravenelor se face prin faza de ravene efemere sau rigole (*rill*-uri) care apar odată ce scurgerea de suprafaţă trece de la faza areolară la cea concentrată. Experimentele au arătat că vitezele critice de iniţierea rigolelor sunt de 3 - 3.5 cm/s, pe o pantă de 2 - 3°. Aceste elemente de prag ale scurgerii nu pot fi considerate decât în relaţie cu factorul de erodabilitate a solului, aspect asupra căruia vom reveni.

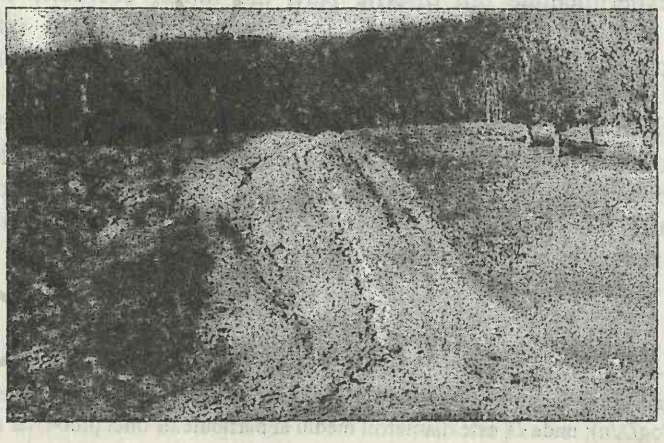


Foto 6.3. Iniţierea de rigole şi ogaşe pe drumuri în pantă (foto N. Rădoane).

6.6. Efectul scurgerii de subsuprafață

Circulația de subsuprafață a apei are loc, în principal, sub două forme:

a) *difuză,* ca o pânză de apă ce se infiltrează printr-un mediu poros;

b) *liniară,* ca o curgere liniară de-a lungul unor crăpături, pori sau direcții de stratificație, gropi de animale, rădăcini de plante etc. Curgerea liniară poate fi definită ca *piping* sau tunelară. Condițiile necesare pentru ca circulația de subsuprafață să aibă loc sunt (după Jones, 1981):

- rate mari de infiltrație;
- gradient hidraulic;
- prezența unui abrupt;
- sol supus crăpăturilor;
- precipitații cu intensitate mare;
- un strat relativ impermeabil sub profilul de sol;
- un strat erodabil sub stratul impermeabil;
- restrângerea covorului de vegetație;
- proporții favorabile de cationi în sol și în fluidul din pori;
- procent mare de argile gonflabile.

O diferență de permeabilitate importantă între orizonturile de sol este necesară pentru realizarea unui gradient hidraulic și inițierea scurgerii de subsuprafață. Solurile cu un orizont superior mai grosier și un orizont inferior mai fin (argilos) sunt cunoscute sub numele de "soluri duplex" (Faber, Imeson, 1982). Diferența texturală este înregistrată, de obicei, între orizonturile A și B. O diferențiere între orizontul C și suprafața rocii *in situ* va avea același efect, întrucât roca parentală este, adesea, mai puțin permeabilă decât solul acoperitor.

Solurile duplex sunt extrem de vulnerabile la eroziunea prin ravene inițiată de *piping* sau tunelare. Adâncimea la care se formează *piping*-ul sau tunelarea depinde în mare parte de proprietățile orizontului inferior (B). Apa ce percolează prin orizontul A cauzează eluvierea particulelor de argilă. Când apa atinge orizontul B, porii mai mici vor fi colmatați. De asemenea, apa poate activa sodiul prezent în sol și poate cauza dispersia argilei. Rata de dispersie depinde de relația dintre conținutul ionic al solului și apa de percolare. În solurile cu conținut mare de argilă, dispersia este însoțită de schimb cationic pe suprafața miceliilor de argilă. Aceasta implică o reînlocuire a cationilor legați bivalent cum ar fi Ca^{2+} și Mg^{2+} prin ioni monovalenți de Na^{+}, K^{+} sau bicarbonat, în apa de percolare, crescând, astfel, forțele repulsive ale miceliilor. Ionul cel mai eficient în cauzarea dispersiei este Na. Stadiul critic la care se produce instabilitatea în argile este o funcție a procentului de Na solubil și tipurilor de minerale argiloase. Un conținut redus de săruri în apa de percolare (*seepage*) crește susceptibilitatea dispersiei prin creșterea potențialului de schimb cationic (Sherard et al., 1972).

Relația între conținutul de Na^{+}, Mg^{2+} și Ca^{2+} din sol este exprimată în mod obișnuit ca raport de adsorbție a sodiului (*RAS*):

$$RAS = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{(Mg^{2+} + C^{2+})}{2}}}$$

O măsură a sodiului disponibil în sol este procentul de Na schimbabil (*PSS*):

$$PSS = Na^+/\text{capacitatea de schimb cationic}$$

Toate valorile sunt date în meq/100g sol.

Cu cât sunt mai mari valorile *RAS* și *PSS*, cu atât este disponibil mai mult sodiu pentru a cauza dispersia și, în consecință, o mai mare erodabilitate a solului. Pe această bază se presupune că erodabilitatea solului și potențialul pentru *piping* sunt reduse pentru valori mici ale *RAS* și *PSS*. În realitate, fenomenele sunt mult mai complexe. De exemplu, s-a constatat că *PSS* <15% poate cauza dispersia argilei dacă concentrația de Mg^{2+} este mai mare decât cea a Ca^{2+} (McIntyre, 1979).

Formarea *piping* - ului poate avea loc pe un spectru larg de pante, de la valori sub 1° (Berry, 1970) la valori de peste 30° (Yair et al., 1980), aceasta datorându-se faptului că factorul de control important al *piping*-ului este gradientul hidraulic și nu cel topografic (Jones, 1971). De exemplu, în Arizona gradienții hidraulici mai mici de 3% pot iniția *piping*-ul, în special, dacă solul prezintă crăpături. Odată format, un tunel de sufoziune se extinde spre amonte existând posibilitatea lărgirii pereților în anumite puncte și a prăbușirii tavanului. Se formează, astfel, pâlnii de sufoziune.

Formarea ravenelor prin fenomenul de *piping* are loc prin unirea pâlniilor de sufoziune în lungul liniilor de drenaj subteran (Tufescu, 1966, denumește această formă de relief "râpă sufozională") sau prin interceptarea liniei de versant de către gura unui tunel, în punctul respectiv existând posibilitatea apariției unui prag de obârșie a ravenei.

Cu toate progresele făcute, se consideră că există încă multe semne de întrebare în legătură cu procesele determinate de apele de infiltrare și drenaj subteran. În această lucrare noi nu am abordat, în mod special, problema sufoziunii, cele câteva observații fiind preluate din literatura de specialitate. Deși este un factor de control important în formarea ravenelor, *piping* - ul este el însuși controlat de un mare număr de factori astfel că gradul de complexitate a fenomenului face extrem de dificilă cuantificarea lui. Se pare, totuși, că în cele mai multe cazuri, *piping*-ul este un proces important, în special, după formarea ravenei, deoarece apariția lui depinde într-o mare măsură de formarea gradientului hidraulic, iar aceasta nu poate avea loc decât în cazul prezenței unui abrupt de obârșie a ravenei.

*
* *

La finalul capitolului privind cauzalitatea ravenelor considerăm că trebuie să aducem în discuție un nou termen și anume cel de *susceptibilitate* a anumitor terenuri la inițierea eroziunii în ravene și care ne ajută să înțelegem că inițierea

ravenelor este un proces care poate fi elucidat, cu condiția ca acesta să fie făcut pentru fiecare caz în parte.

Susceptibilitatea ia în considerare suma factorilor de la nivelele superioare ale ordonării Nordstrom (1988), respectiv, elementele ce caracterizează interfața rocă - scurgerea apei. Un model ilustrativ provine din cercetările Laboratorului de Geomorfologie din Leuven. Au fost selectate 10 ravene diferite formate în depozite silto-lutoase din regiunea Bruxelles asupra cărora s-au făcut determinările listate în tabelul 6.7. Clasele de erodabilitate prin ravenație au fost determinate pe baza formei și dimensiunii secțiunii transversale a ravenei și alte caracteristici ale punctului de localizare a ravenelor. De exemplu, clasa 1 corespunde la o erodabilitate foarte mică și este atribuită la un strat de sol pe care se produce scurgerea concentrată, rezultând într-o secțiune transversală foarte mică, în ciuda pantei relativ mare a terenului și a bazinului de drenaj de dimensiuni importante. Pe de altă parte, clasa 5 corespunde la o erodabilitate foarte mare prin ravenație și este atribuită unui strat de sol pe care s-a realizat scurgerea concentrată, rezultând o secțiune foarte mare a albiei, în ciuda pantei reduse a terenului și a dimensiunii mici a bazinului.

Mai departe, pentru fiecare sit de ravenă au fost determinați o serie de parametri ai solului ravenat, cum ar fi: procentele de argilă, de silt și nisip, de materie organică, de carbonat de calciu; de asemenea, densitatea volumetrică, conținutul gravimetric de umezeală, rezistența la forfecare (măsurată cu un Soiltest CL-600), rezistența la penetrare (măsurată cu un penetrometru Soiltest CL-700), unghiul de frecare internă (cu un Soiltest D-250).

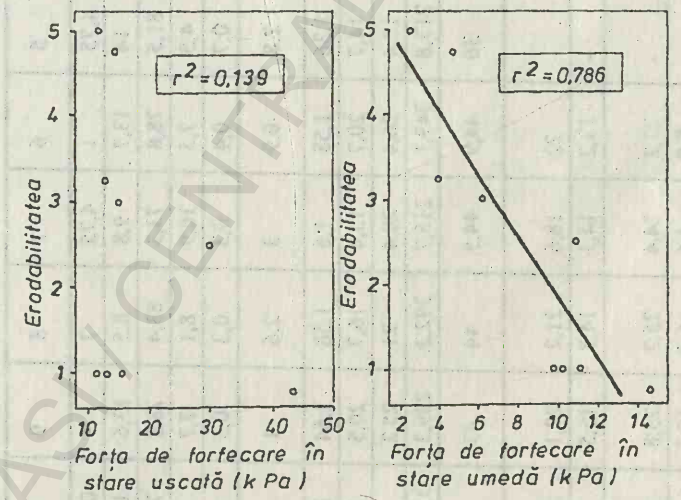


Fig. 6.10. Relația între gradele de ero-dabilitate a terenurilor și forța de forfecare a stratelor de sol înainte și după umectarea artificială (Poesen și Govers, 1990).

Toate datele sunt cuprinse în tabelul 6.7, împreună cu coeficienții de corelație între fiecare proprietate a solului și clasele de erodabilitate prin raveneație.

Tabel 6.7. **Determinarea susceptibilității terenurilor la ravenare (Posen și Govers, 1990)**

Ravena	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	*r*	*p*
Clasa de erodabilitate a ravenei	5	1	3,25	2,5	4,75	1	4,75	3	1	0,75	1,00	0,00
Argila (%)	9,4	13,2	12,7	13,8	14	13,7	9,8	8,5	13,6	16,3	-0,61	0,06
Silt (%)	88	84,7	83,2	83,5	81,5	78,8	73,3	83,4	78,8	79,9	0,10	0,79
Nisip (%)	2,6	2,1	4,1	2,6	4,5	7,5	16,9	8,1	7,7	3,8	0,25	0,49
Materie organică (%)	0,3	0,7	0,9	0,5	0,7	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,07	0,85
$CaCO_3$ (%) 22/09/1988	14,8	2,2	2,2	7,9	2,8	0,9	3	2,6	1	0,7	0,56	0,09
Densitate volumetrică (g/cm³)	1,52	1,57	1,48	1,38	1,36	1,58	1,6	1,58	1,64	1,72	-0,53	0,11
Conținut de umezeală (%)	13,6	19,3	18,6	16,1	14,7	20,7	13,4	16,7	20,5	19,9	-0,93	0,001
Forță de forfecare (kPa)	10,4	20	17	23,8	12,4	26,4	20,4	21	25,2	27	-0,82	0,003
Rezistența la penetrare (kPa)	257,9	254	292,2	211,8	213,8	349,1	215,7	392,2	239,3	358,9	-0,41	0,24
Unghiul de frecare internă (°) 19/12/1988	47,1	36	42,9	34,3	36	44,9	44,5	44	43	47	0,01	0,97
Înainte de infiltrarea apei												
Cont. umezeală (%)	18,5	23,2	22,6	19,2	-	22	18,6	21,2	22,1	19,6	-0,61	0,08
Rezistența la forfecare (kPa)	11,5	11,6	12,6	30	-	13,2	14,3	14,8	15,5	43	-0,37	0,32
După infiltrarea apei												
Cont. umezeală (%)	26,3	24,7	28,2	25,3	-	27,2	24,4	25,2	25,8	27,2	-0,18	0,64
Rezistența la forfecare (kPa)	2,5	11	3,9	10,9	-	9,8	4,6	6,3	10,2	14,5	-0,89	0,001

Clasele de erodabilitate prin ravenație: *1* – foarte scăzută; *2* – scăzută; *3* – moderată; *4* – înaltă; *5* – foarte înaltă; *r* – coeficient de corelație între fiecare proprietate a solului și clasa de erodabilitate prin raventație; *p* – nivel de semnificație.

Din cele 14 proprietăți ale solului, numai două sau corelat semnificativ cu clasele de erodabilitate: conținutul de umezeală și rezistența la forfecare. *Faptul că clasa de erodabilitate prin ravenație este invers legată de rezistența la forfecare după saturarea stratului de sol (r = -0.89) este una dintre cele mai relavante relații care reflectă condițiile sub care are loc detașarea particulelor de sol.*

O relație inversă semnificativă între clasa de erodabilitate prin ravenație și rezistența la forfecare a fost observată și în perioada relativ uscată a solului (fig. 6.10). Iată de ce se recomandă ca acest parametru - *forța de forfecare* - să fie utilizat pentru evaluarea riscului la ravenare în diferite zone de interes cu condiția ca înaintea măsurării, solul să fie bine umectat, până la saturare. Această relație are următoarea ecuație:

$$\text{Erodabilitatea prin ravenație} = 5.47 - 0.36X$$

unde X este forța de forfecare după umezire a solului (kPa). Măsurătorile asupra acestui parametru se fac destul de ușor în teren cu condiția să dispui de un aparat din gama Soiltest (Soiltest CL-600, Soil Sheargraph).

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

7. RĂSPÂNDIREA RAVENELOR

7.1. Considerații generale

Ravenele sunt forme de relief care apar în cele mai variate condiții fizico - geografice ale Terrei. Există totuși zone climatice unde formarea și dezvoltarea lor este foarte propice. În monumentala lor sinteză din *Water in Environmental Planning* (818 p.), Dunne și Leopold (1978) prezintă o expresie grafică a repartiției diferitelor procese geomorfologice în funcție de morfologia versanților, climat, vegetație, tip de sol și influență antropică. În figura 7.1 redăm această ilustrație din care se poate observa că ravenarea este frecventă pe pante relativ reduse, în climatele aride și subumede, cu vegetație rară și impact antropic accentuat. Senzitivitatea terenurilor la ravenare este maximă în aceste regiuni, deși prezența lor caracterizează și multe regiuni umede.

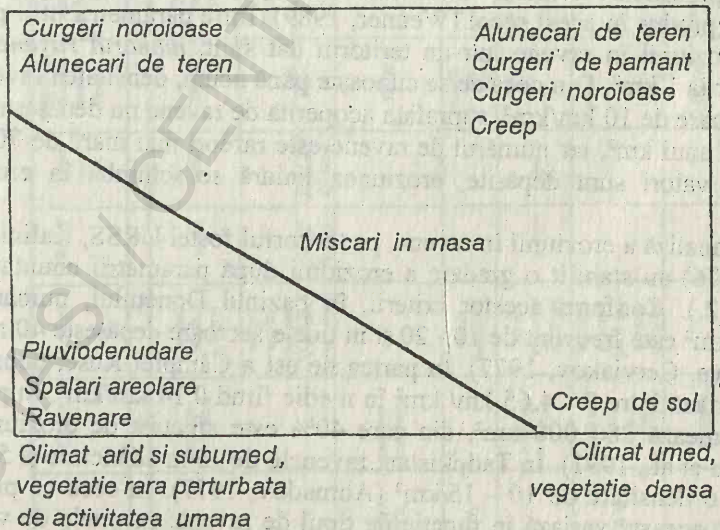


Fig. 7.1. Procesele geomorfologice în relație cu climatul, vegetația și utilizarea terenurilor (Dunne, Leopold, 1978).

BCU CLUJ / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

Problema cea mai serioasă în legătură cu ravenele este că ele afectează terenurile agricole ale acelor regiuni în care se practică o agricultură subzistențială. Pentru multe țări din aceste zone (India, Pakistan, China, țări din Asia Centrală și Africa) ameliorarea terenurilor ravenate este o problemă de prioritate națională. Este firesc, așadar, ca o mare parte din efortul cercetătorilor să fie îndreptat spre înregistrarea fenomenului, cunoașterea repartiției sale, încercări de clasificare și evaluare a suprafețelor degradate care pot reprezenta uneori argumente puternice pentru investigațiile ulterioare. În tabelul 7.1 sunt redate câteva date sintetice asupra extinderii fenomenului de ravenație în diferite zone ale globului, așa cum au fost preluate din diferite lucrări și rapoarte științifice.

Unul dintre cele mai severe fenomene de ravenare se înregistrează în India. S-a apreciat că ravenele afectează 1% din suprafața acestei țări (3,669 mil. ha) și se depun eforturi considerabile pentru controlul eroziunii și ameliorarea terenurilor. La periferia marii Câmpii Gangetice multe ravene depășesc 60 - 80 m adâncime, astfel că mulți autori și-au pus problema dacă nu există cumva o mare susceptibilitate tectonică a regiunii. Platoul de loess din China cu o suprafață de 430 000 km² este afectat de eroziune în ravene pe o suprafața de 237 000 km², fiind zona cu cele mai serioase probleme de eroziune din lume (Hanxiong, 1989).

În Pakistan, 36% din suprafața agricolă este afectată serios de eroziunea în ravene, în Provincia Punjab fiind cea mai gravă situație. Specialiștii apreciază că anual se erodează un strat de sol echivalent cu 5000 ha teren agricol. Platoul Pothwar (1,8 mil. ha), între fluviile Indus și Jhelum acoperit cu o manta groasă de loess, este extrem de susceptibilă la eroziune. Din această suprafață, 60% este acoperită de ravene și doar 1/3 din potențialul productiv al solului este utilizat (Haigh, 1989).

În Lesotho, țară africană de numai 30 000 km², 20 000 - 30 000 de ravene mari ocupă aproximativ 4% din terenul arabil al țării. Mare parte din eroziunea în ravene s-a produs în acest secol (Wenner, 1989). Între parametrii utili pentru aprecierea eroziunii în ravene într-un teritoriu dat sunt: *numărul ravenelor* și *densitatea* lor la 1 km². Din ceea ce se cunoaște până acum, densitatea ravenelor nu este mai mare de 10 km/km², suprafața acoperită de ravene nu depășește 15% din suprafața unui km², iar numărul de ravene este rareori mai mare de 70/km². Când aceste valori sunt depășite, eroziunea liniară se schimbă în eroziune polimorfă.

Într-o analiză a eroziunii în ravene, pe teritoriul fostei URSS, Kalinicenko și Ilinski (1976) au stabilit o gradare a eroziunii după parametrii enunțați mai sus (tabel 7.2.). Conform acestor criterii, în bazinul Donețului, numărul de ravene pe 1 km² este frecvent de 10 - 20 și în unele sectoare depășește 40 ravene /km² (Kiseleva, Cerviakov, 1977). În partea de est a Câmpiei Ruse, densitatea ravenelor variază între 0 - 4,65 km/ km² în medie fiind 0,14 km/km². Suprafața studiată însumează 280 000 km², din care 40% este afectată de eroziunea în ravene (Briko et al., 1991). În Tadjikistan, ravenele de 15 m adâncime și 50 - 60 m lățime au o densitate de 10 - 15/km² (Ahmadov, 1977). În ceea ce privește lungimea lor, aceasta variază în funcție de tipul de ravenă: ravenele de versant sunt în proporție de 47% sub 100 m lungime, iar ravenele de vale sunt în proporție de 68% cu lungimi mai mari de 700 m.

Tabel 7.1. **Date asupra caracteristicilor ravenelor din diferite regiuni ale Globului**

Țara	Climat	Geologie	Relief	Utiliz. teren	Suprafața perimetr. cercetat (km^2)	Suprаf. afect. de ravenatie (%)	Densitatea ravenelor		Lung. ravene (L,m)	Adânc. ravena (h,m)	Lățime ravena (B,m)	Panta versant. (IV,%)	Rata de avansare (m/an) sau ($mc/km^2/an$)	Sursa
							(nr/km^2)	(km/km^2)						
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*	*11*	*12*	*13*	*14*	*16*
ROMANIA	temperat-continental	marne, argile, nisipuri	podiș	agricol	25000	71% 9000 ravene	2-4 max 20	0,1 - 1,0 max 3	170	3,5	12	20 - 30	1,0 m/an (in roci marno-argiloase 1,5 m/an (in roci nisipoase)	Rădoane et al. (1995)
		marne, argile, nisipuri	"	"		67 ravene							0,92 (ravene discontinue) 10,6 (ravene continue)	Ioniță (1998)
		depozite versant	munții flișului	dominant forestier	18 38			2	70	0,8 - 3	3-5		0,5 – 1 m/an	Rădoane (1988)
REPUBLICA MOLDOVA	temperat-continental				33700								4,55 (iarna - primavara) 2,16 (vara - toamna) - 6,36 m/an 0,49 (iarna - primavara) 0,56 (vara - toamna) - 1,05	Roșkov (1973)
SLOVACIA		luturi loessoide			versanti 1 - 100 m L - 160 m	8 - 21,5	4 - 12					4° - 15°		Zachar (1982)
BELGIA	temperat-umed	luturi loessoide lehm-uri	câmpie	agricol		12,6 16 ravene			6,4	1,6	2,25	4,9	5,2 mc/ha/an	Poesen (1989) Poesen si Govers (1990)
NV ANGLIEI	temperat rece umed 1400 m	depozite • glaciare peste roci pelitice siluriene											0,18 m/an	Harvey (1992)
ISRAEL	semiarid				1,2 km^2	max 1,65		1,61	220 - 1930				8,5 m/an 100 ani 150 ani 200 ani 250 ani	Seginer (1966)
RUSIA (partea europeana)	temperat-continent.					6394 ravene	4/km^2						1690-1909 29 ravene/an 0,018 ravene/km/km^2	Roșkov et al. (1982)
RUSIA (regiunea Kursk)	"			pășunat	250	968			150	8-10			2,3m/an	Skomorohova (1981)

BCU IAȘI - FONDUL CENTRAL UNIVERSITAR LIBRARY

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	16
RUSIA (Ulianovsk)	temperat-continental	argila marnoasă argila nisipoasă	Podişul Volgăi	veg. naturală teren cultivat		56 ravene (1963 - 1975)						8 - 10° 20 - 25° 2 - 5° 18-20°	1,5 m/an (1963 - 1975) 2,5 m/an mai - 13,73 m/an 1,5 m/an oct. - 3,99 m/an 2,5 m/an 0,5 m/an 4,5 m/an Rata avansare 1,57 m/an Rata expansiune - 87,4 m/an	Korotina (1981)
TADJIKISTAN	semi-arid		podiş inalt	vegetatie nederanjată terenuri irigate		40% din suprafata	10-15 /km²	1,2-2,0	300-400	15	50-60	35°	1975-1978 1,6-30,0 m/an 82,5 m/an 674,7 m/an	Ahmadov (1977; 1979)
INDIA	musonic 2 sezoane subumed				Gujarat Rajasthan Chambal	5000 km² 1370 km² 15,7 km²				1,5 - 3			30 ani - 5,3% crestere ravene 1,75 ha/1000 ha teren 1,93 ha/an/1000 ha teren	Haigh (1984)
CHINA (Platoul de Loess)	semiarid	loess		agricol (42,4%) păşune (33,9%) pădure (8,6%) neproduct (15,1%)	430000 78,4 km²	237000 75% ravene (504 rav.)		4,5					2,5-5 m/an avansare 2-3 m/an expansiune laterală	Hanxiong (1989)
NOUA ZEELANDĂ	1000 mm precipitatii	greiwacke argilite	270-2000 m	păşune	550 km²	434 ravene	0,8					34-37° 1000-1200 m		Cuff (1985)
AUSTRALIA	730 mm	marne argiloase				32 vf. ravena			105-113 m			2-3°	30 ani (1949 - 1978) 0,9 m/an (medie) 2,5 m/an - 0,7 m/an	Bloog (1985)
LESHOTO (Africa de Est)	temperat 15°C 700 mm	str. sedim. peste bazalte soluri nisiopoase	h. med. 1670	arabil 53,75% păşune 30-60%	2,5 - 10,2	7,1% - 11,5%		2,6 - 5,5	267 (1,2) 232 (1,7) 244 (1,0) 234 (1,1)	5-10 m 5-10 10-15 5-10 5-6 10 5-10 6-8		11% 1,6% 6% 13%	59 m/km²/an 59 21 48 67 55 60 41	Nordstrom (1988)
				12% arabil	30000 km²	20000-30000 mari ravene (4% din teren ul arabil)								Wenner (1989)

BCU "Ion Ionescu de la Brad" CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	16
MADAGASCAR	tropical-umed 18-26°C 1000-2000 mm	laterite peste roci cristaline precam-briene	podiș structural	pășune		93 ravene lavaka			50-148	10-40	20-75		stadiile I-II în 15 ani.	Wells et al (1991)
SUA (Iowa)		loess	podiș	porumb culturi agricole	0,304 - 2310,0	2 - 33%							media 4,57%/an	Piest, Beer, Spomer (1976)
Nord Mississippi S.U.A.		roci nisipoase friabile cu loess deasupra	câmpie de coasta		0,028 - 0,061					1,5-5,0			40 – 462 t/an	McDowell, Bolton, Ryan (1966)
Valea Missouri		loess suprapus peste till glaciar		porumb porumb iarbă	0,30 0,33 0,43 0,61								13,5 t/ha	Piest Bradford Spomer (1975)
W S.U.A. V. Colorado		loess			0,51-25,6			86 m						Heede (1974)
CANADA	temperat	depozite de origine glaciară	țărmul lacului Huron	70% acoperit de arbori și tufișuri	44 ravene			20 - 1500					0.33 m/an	Burkard, Kostaschuk (1995)
BRAZILIA	tropical umed	roci metamorfice puternic meteorizate	podiș	pășuni	2095 106 ravene									Oliveira(1990)

BCU CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

Tabel 7.2. **Clasificarea eroziunii în ravene pentru teritoriul fostei URSS (Kalinicenko și Ilinski, 1976)**

Gradul de eroziune în ravene	Parametrii eroziunii în ravene		
	Densitatea ravenelor (km/km²)	Rata de ravenare (%) (ha/km²)	Numărul de ravene pe 1 km²
Foarte slabă	< 0,15	< 0,2	1
Slabă	0,15 - 0,6	0,2 - 0,9	1 - 4
Moderată	0,6 - 2,2	0,9 - 3,5	4 - 17
Severă	2,2 - 9,0	3,5 - 14,0	17 - 67
Foarte severă	> 9,0	> 14,0	> 67

În cazul terenurilor afectate de eroziune, din Africa de Sud, Departamentul Agriculturii a propus un sistem de clasificare numit SARCCUS (Nordstrom, 1988). Pentru eroziunea în ravene s-au propus 5 grade de intensitate, și anume:

clasa 1. fără eroziune

clasa 2. eroziune slabă

clasa 3. eroziune moderată (mai puțin de 25% dintr-o celulă a unei rețele de carouri care depinde de scara hărții topografice. În studiul lui Nordstrom, 1988, o celulă este egală cu 0,04 km²)

clasa 4. eroziune severă (25 - 50% din suprafața unei celule este afectată);

clasa 5. eroziune foarte severă (peste 50% din suprafața celulei este afectată).

Tabel 7.3. **Diferențierea efluenței aluvionare pe forme de eroziune și zone naturale în România (Moțoc, 1984)**

Forme de eroziune	Eroziune totală		Coeficient de efluență	Efluența	aluviunilor
	mil. tone	%		mil. tone	%
Eroziune în suprafață	61,8	49,0	0,26	16,1	38,2
Eroziune în adâncime	29,8	23,6	0,46	13,8	31,0
Alunecări	15,0	12,0	0,35	5,2	11,6
Eroziune în adâncime și alunecări	6,8	5,4	0,40	2,7	5,9
Eroziune de maluri și albii	12,6	10,0	0,54	6,8	15,3
Total	126	100,0	0,35	44,6	100,0

În România, preocupările pentru cercetarea eroziunii prin ravene au avut ca puncte de plecare 2 zone de interes: în contextul analizei surselor de aluviuni (Moțoc et al., 1979; Mihaiu, 1979; Moțoc, 1982, 1984; Gașpar, Cristescu, 1987; Rădoane, 1980, 1988) și în contextul fragmentării terenurilor agricole (Ioniță, Ouatu, 1985; Rădoane et al., 1990; Ichim et al., 1990; Ioniță, 1998). La acestea mai putem adăuga unele cercetări asupra ravenelor din zona montană, în contextul afectării domeniului silvic (Traci, 1962, 1985).

Dintr-un studiu de ansamblu realizat pentru întreg teritoriul României de .Moțoc (1984) asupra efluenței aluvionare în raport cu procesele sursă, tipurile de folosință și marile regiuni naturale, s-a extras aportul eroziunii în ravene la formarea debitelor solide ale râurilor (tabel 7.3.).

Pentru rolul eroziunii în adâncime pe teritoriul României sunt relevante următoarele concluzii:

- între debitele solide și eroziunea în adâncime, măsurate în condițiile Podișului Moldovenesc, există o concordanță de circa 80%, ceea ce în lipsa unor date, permite extrapolarea pentru întreaga țară;
- de pe terenurile de folosință agricolă ale României, eroziunea în adâncime participă cu o efluență de 31% la totalul aluviunilor râurilor noastre, o pondere mai mare având-o în Oltenia, Muntenia, Transilvania (de est) și Moldova (tabel 7.3);
- în condițiile Podișului Moldovenesc (Colinele Tutovei) s-au înregistrat rate medii de creștere a ravenelor de 0,5 - 2 m/an, comparabile cu cele date de Roșcov (1973) pentru teritoriul dintre Prut și Nistru; o creștere anuală a suprafețelor ravenelor de 1 - 2 ha și un volum de depozite evacuate de 2,1 - 32,1 m^3/ha/an. De asemenea, s-a făcut o diferențiere a tipurilor de ravene în funcție de rata producției de aluviuni (Moțoc et al., 1979, tabel 7.4.);

Tabel 7.4. **Aportul de sedimente prin eroziune în adâncime în Colinele Tutovei (Moțoc et al. 1979)**

Denumirea bazinului	Suprafața (ha)	Eroziunea în suprafață (m^3/ha/an)	Eroziunea în adâncime (m^3/ha/an)	Eroziunea totală (m^3/ha/an)	Eroziunea în adâncime din total (%)
Valea Vasilache	385	5,8	2,1	7,9	26
Valea Gheltag	510	10,7	32,1	42,8	75
Valea Tarinei	1033	4,2	7,5	11,7	64

- procesele de iarnă sau de îngheț - dezgheț, în condițiile morfo - climatice ale țării, au un rol important în evoluția malurilor de ravenă, a pregătirii de material pentru spălări și transport pe fundul ravenei (Rădoane, 1980, 1988);
- procesele de mișcare în masă, în special, alunecări, curgeri noroioase, surpări, creep, sunt dominante pe o mare parte a formațiunilor de adâncime din țara noastră (Ichim et al., 1979; Bălteanu, 1983; Rădoane, 1980, 1988).

7.2. Repartiția areală a ravenelor pe sistem grilă

7.2.1. *Caz studiu: interfluviul Siret - Prut*

Cercetarea răspândirii și dezvoltării ravenelor a fost realizată de Ichim et al. (1990), Rădoane și Rădoane (1992) în teritoriul cuprins între Prut și Siret pe un sistem de carouri de 1 km^2. Investigația a fost favorizată de condițiile cvasi - uniforme în care se află această regiune de aproximativ 25 000 km^2 și pe care le rezumăm mai jos.

Geologia regiunii, este caracterizată de prezența unor roci slab consolidate aparținând Sarmațianului, în cea mai mare parte, și Pliocenului, în partea se sud a Podișului. De la nord la sud se desfășoară principalele complexe litologice: Buglovian - Basarabian alcătuit predominant din *marne argiloase* pe un aliniament ce unește localitățile Cozmești - Codăești - Negrești - Băcești; Chersonian format, mai ales din *argile marnoase și nisipuri* care se dezvoltă până în dreptul localității Vaslui; Meoțian alcătuit din *argile și nisipuri cu intercalații de nisipuri și cinerite* și care aflorează până la sud de Bârlad; Ponțian - Romanian caracterizat de apariția *pietrișurilor și nisipurilor* pe restul teritoriului studiat. Înclinarea generală a stratelor este de circa 5 - 8 m/1000m de la NV spre SE.

Climatic, întregul podiș aparține unui tip climatic temperat continental, cu temperaturi medii anuale între 7,5° - 10°C și precipitații care depășesc 600 mm în câteva puncte mai înalte. Circa 63% din precipitații cad în perioada de vegetație (aprilie - septembrie), din care în sezonul critic de eroziune (aprilie - iulie) 47,1% (Popa, 1977). Partea de nord, respectiv, Podișul Central Moldovenesc, Câmpia Moldovei și Podișul Sucevei intră în zona de agresivitate climatică 0,10, iar partea de sud în zona de agresivitate de 0,13 (Drăgan, Stănescu, 1970). Cea mai mare erozivitate se localizează în luna iunie (peste 1/3 din media anuală).

Hidrologic, regiunea se caracterizează prin cele mai mici scurgeri din țară (1 - 2 l/s/km^2 și chiar sub 0,5 l/s/km^2). Secarea râurilor este un fenomen frecvent. În schimb, pe rețeaua secundară pot să se producă viituri excepționale cu un efect deosebit în modelarea reliefului. Deși turbiditatea râurilor depășește 1000 g/m^3, din cauza debitelor lichide reduse se înregistrează mari scurgeri medii specifice de aluviuni (tone/ha/an), respectiv, sub 0,5 tone/ha/an. Astfel, deși rata eroziunii terenurilor este foarte mare și ajunge până la 3150 tone/ha/an (Ioniță, Ouatu, 1985), efluența pe colectorii principali este foarte mică în comparație cu aceasta.

Evoluția *utilizării terenurilor* în Moldova, pentru ultimele două secole, arată că aria pădurilor s-a redus de la 75% la 25%, iar în prezent acestea reprezintă doar 15% (Băcăuanu et al., 1980). În prezent, dominanța o dau folosințele agricole în care se menține, încă, exploatarea nerațională a terenurilor de pășunat. O imagine mult mai concretă asupra evoluției acestui factor este arătată în fig. 7.2, grație prelucrării pe calculator a informațiilor cartografice de către Hurjui (1998). Cu precauțiile pe care autorul le-a exprimat în ce privește calitatea materialelor cartografice, reținem doar amploarea fenomenului de despădurire, în special după anul 1828, când începe o masivă defrișare (Poghirc, 1972). Este perioada când pentru multe ravene, în special cele de tip continuu, se situează momentul de început, funcție de care este calculată rata de evoluție (Ioniță, 1998).

7.2.1.1. Analiza statistică a repartițiilor ravenelor

În această regiune s-au inventariat peste 9000 de ravene, adică în 36% din rețeaua de carouri de 1 km^2 există cel puțin o ravenă. Numărul acestora pe unitatea de suprafață se menține, în medie, la 2 - 4 ravene, ajungându-se, însă, până la peste 20 de ravene.

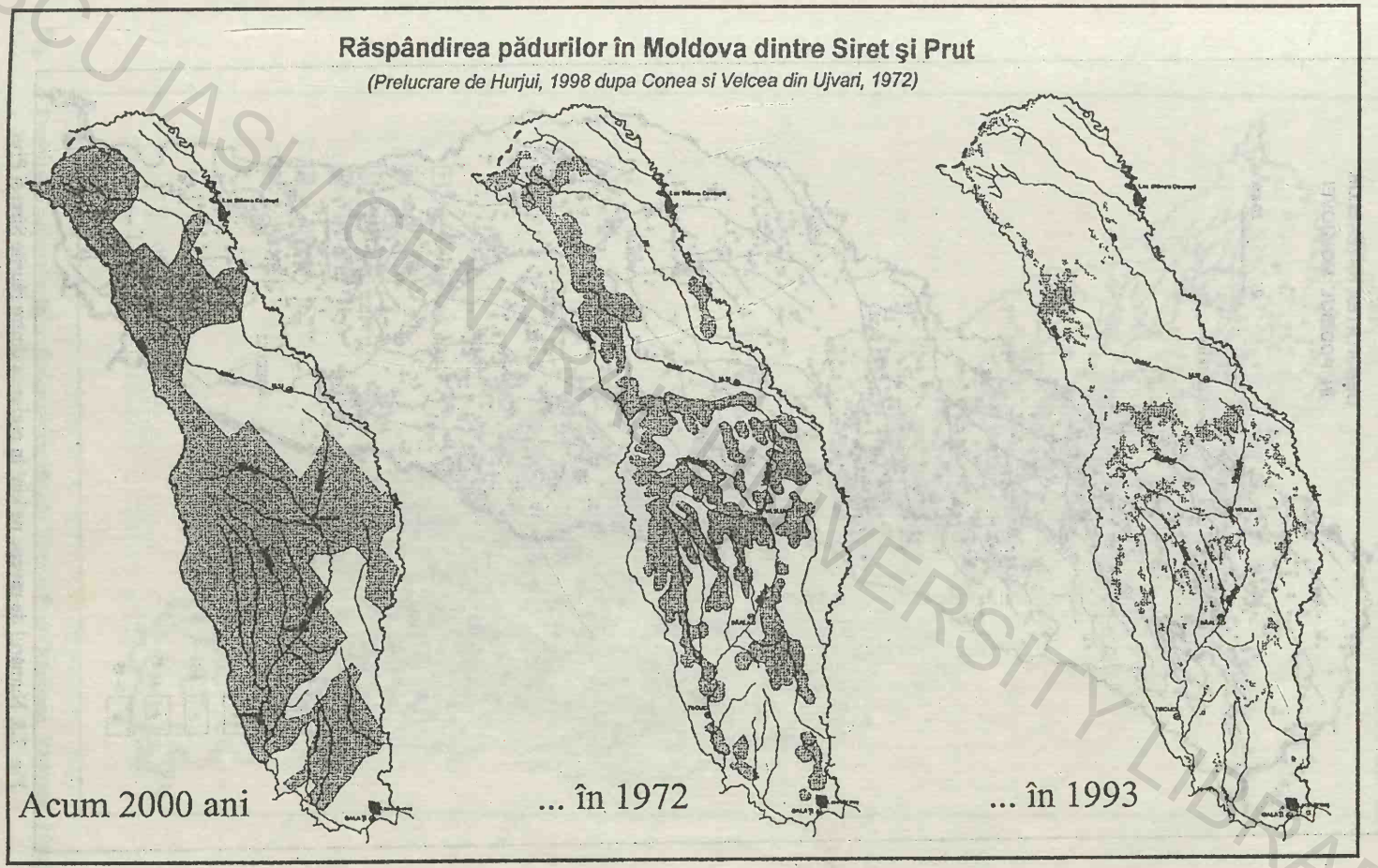


Fig. 7.2.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

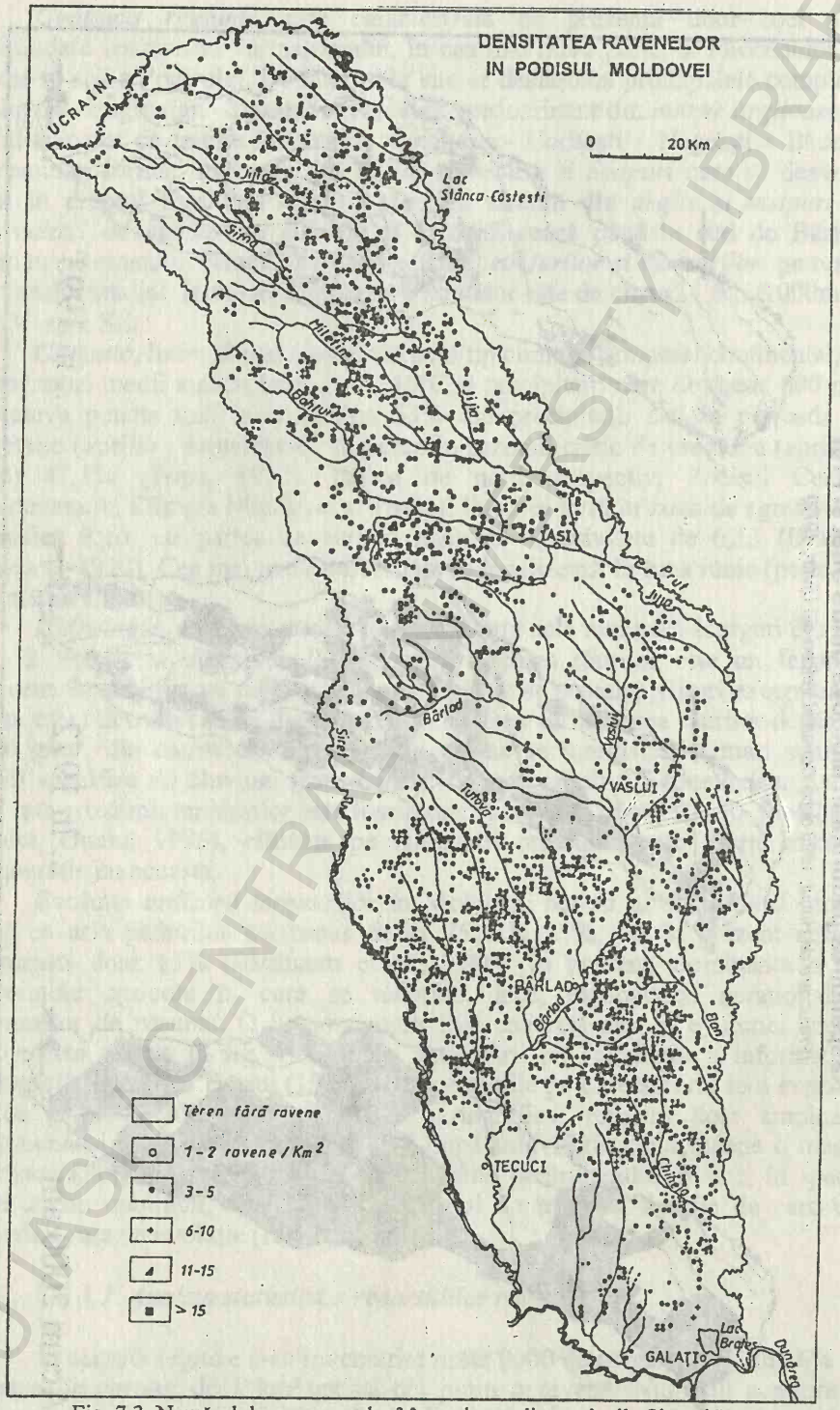


Fig. 7.3. Numărul de ravene pe km² în regiunea dintre râurile Siret și Prut.

BCU IAŞI CENTRALA UNIVERSITY LIBRARY

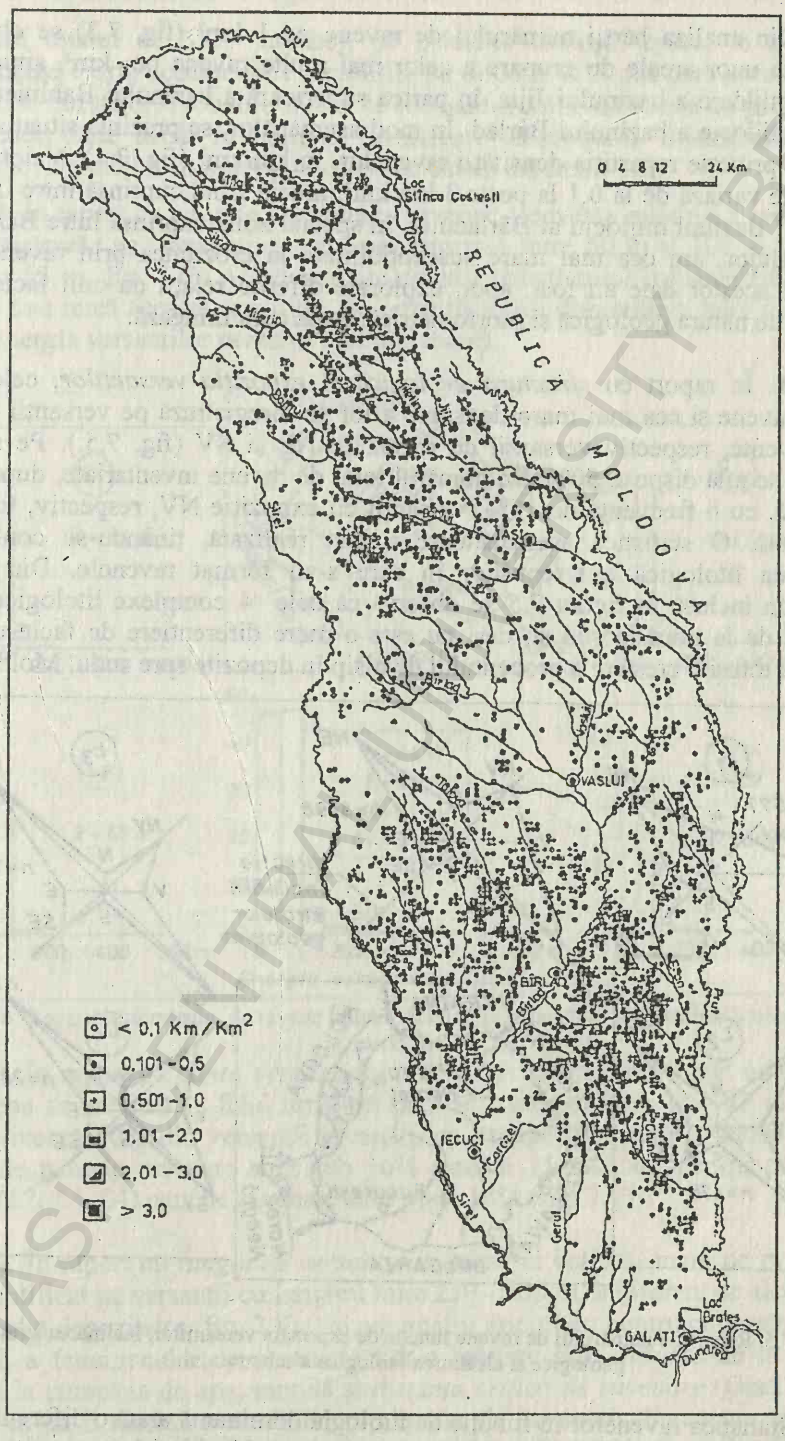


Fig. 7.4. Densitatea ravenelor în regiunea dintre râurile Siret și Prut (Rădoane, Rădoane, 1992).

BCU IAȘI CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

Din analiza hărții numărului de ravene pe 1 km² (fig. 7.3) se observă existența unor areale de grupare a celor mai multe ravene pe km², situate în partea mijlocie a bazinului Jijia, în partea superioară a bazinului Bahluieț și în partea mijlocie a bazinului Bârlad. În mod asemănător, se prezintă situația și în ceea ce privește repartiția densității ravenelor, în km/km² (fig. 7.4). Valorile de densitate variază de la 0,1 la peste 3 km/km², media fiind cuprinsă între 0,1 - 1 km/km². Bazinul mijlociu al Bârladului, în special zona cuprinsă între Bârlad și Târgu Bujor, are cea mai mare susceptibilitate la eroziunea prin ravene. Cu ajutorul acestor date au fost, apoi, explorate diferite relații cu unii factori de control de natură geologică și morfometrică, după cum urmează:

1. În raport cu *structura geologică și expoziția versanților*, cele mai multe ravene și cea mai mare densitate a lor se înregistrează pe versanții văilor consecvente, respectiv versanții cu expoziție NE și SV (fig. 7.5.). Pe aceste direcții se află dispuse 50% din numărul total de ravene inventariate, după care urmează, cu o frecvență de 15%, versanții cu expoziție NV, respectiv, frunțile de cuestă. O statistică asemănătoare a fost realizată, ținându-se cont de alcătuirea litologică a terenurilor în care s-au format ravenele. Din harta medalion inclusă în figura 7.5 se observă că cele 4 complexe litologice sunt dispuse de la nord la sud și, deși nu este o mare diferențiere de faciesuri, se remarcă totuși o creștere a procentului de nisip în depozite spre sudul Moldovei.

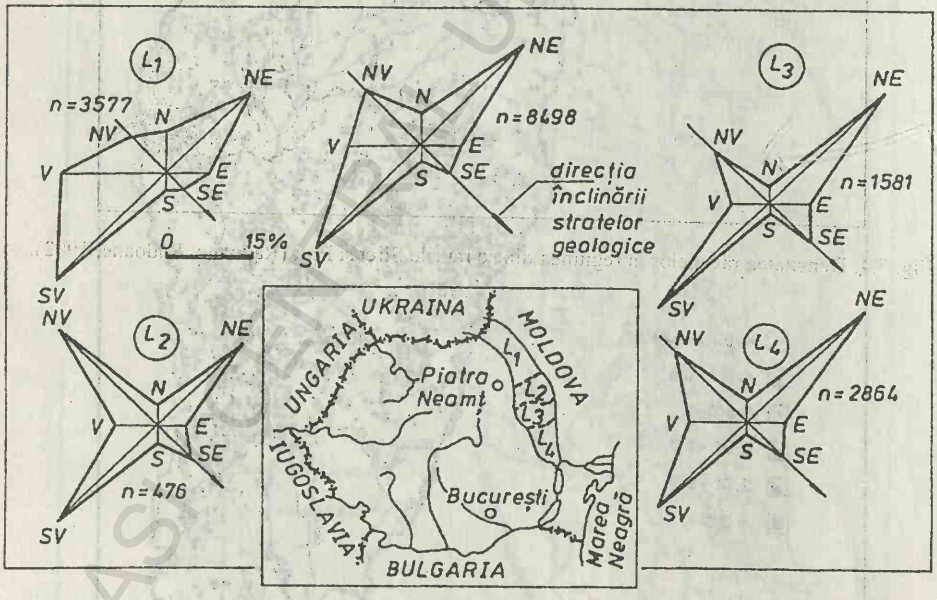


Fig. 7.5. Repartiția numărului de ravene funcție de expoziția versanților, înclinarea stratelor geologice și alcătuirea litologică a substratului.

Statistica ravenelor în funcție de litologia dominantă arată o diferențiere a repartiției, foarte evidentă între *L*1, pe de o parte, și *L*2, *L*3, *L*4, pe de altă parte. Astfel, dacă pentru zona marnelor argiloase basarabiene dominanța o dau repartițiile pe versanții consecvenți (expozițiile NE și SV sunt în proporție de

60% din totalul de 3577 ravene), pe celelalte litologii apare, în plus, o componentă foarte accentuată a repartiției pe direcție NV, cea care corespunde cu frunțile cuestelor. Probabil, în aceste sectoare frunțile de cuestă au pante mai puțin accentuate decât în nord și favorizează dezvoltarea formațiunilor de adâncime. Un tablou complet este oferit de datele tabelului 7.5.

2. În raport cu *energia versantului* ravenat, frecvența maximă a ravenelor se înregistrază pe versanții cu energie cuprinsă între 50 m și 100 m (media fiind de 53 m; fig. 7.6). Alcătuirea litologică a substratului influențează într-o măsură mai mică această repartiție. Se remarcă totuși diferențiere între *L2* și *L4* (unde energia versanților ravenați este mai mare).

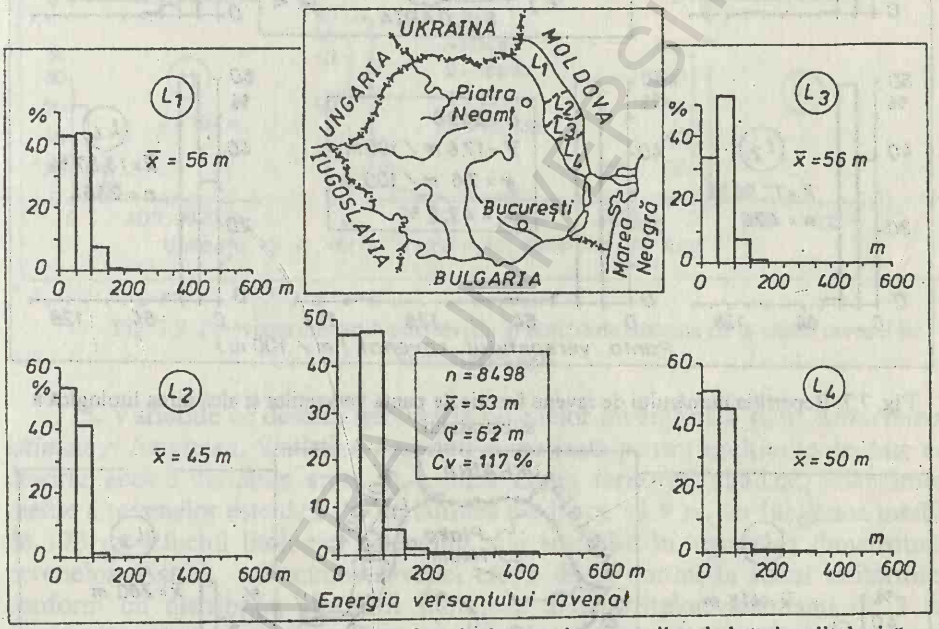


Fig. 7.6. Repartiția numărului de ravene funcție de energia versanților și alcătuirea litologică a substratului.

3. În raport cu *panta versantului* ravenat, repartiția frecvenței numărului de ravene se prezintă în felul următor: pantele cuprinse între 16 - 32 m/100m caracterizează 60% din versanții ravenați, cu excepția versanților modelați pe *L1*, unde pantele ravenate sunt sub 16% (media 15,7%), iar pentru celelalte cazuri (*L2*, *L3*, *L4*) pantele ravenate sunt peste 16% (fig. 7.7).

4. În raport cu *lungimea versantului*, numărul cel mai mare de ravene a fost identificat pe versanții cu lungimi între 250 - 500 m, indiferent de alcătuirea litologică a depozitelor (fig. 7.8). Un parametru important pentru cunoașterea, în general, a fenomenului de ravenație într-o regiune este distanța de la vârful ravenei la cumpăna de ape, numită și *distanța critică de ravenare* (Graf, 1977) pentru că dă o măsură a stadiului procesului de ravenare. Frecvența maximă înregistrată a acestui parametru este cuprinsă între 0 și 200 m, media fiind de 170 m (fig. 7.9).

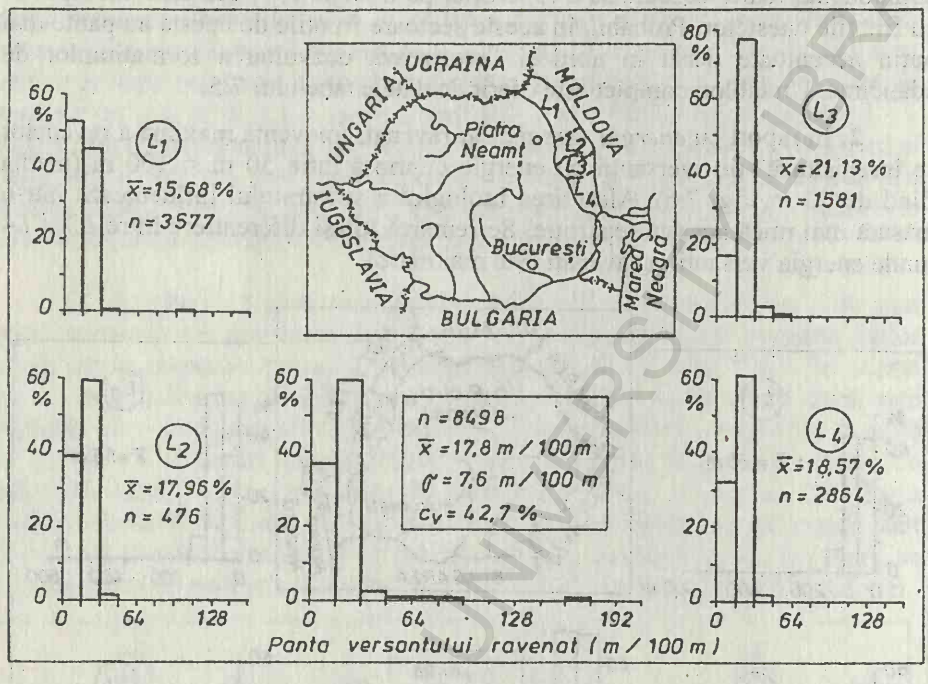


Fig. 7.7. Repartiția numărului de ravene funcție de panta versanților și alcătuirea litologică a substratului.

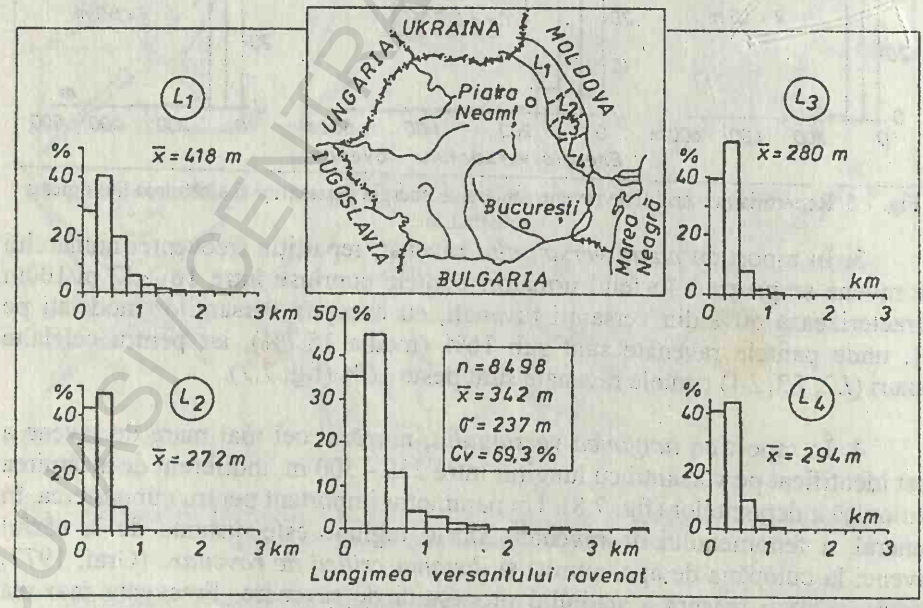


Fig. 7.8. Frecvența numărului de ravene în funcție de lungimea versantului ravenat.

BCU CLUJ / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

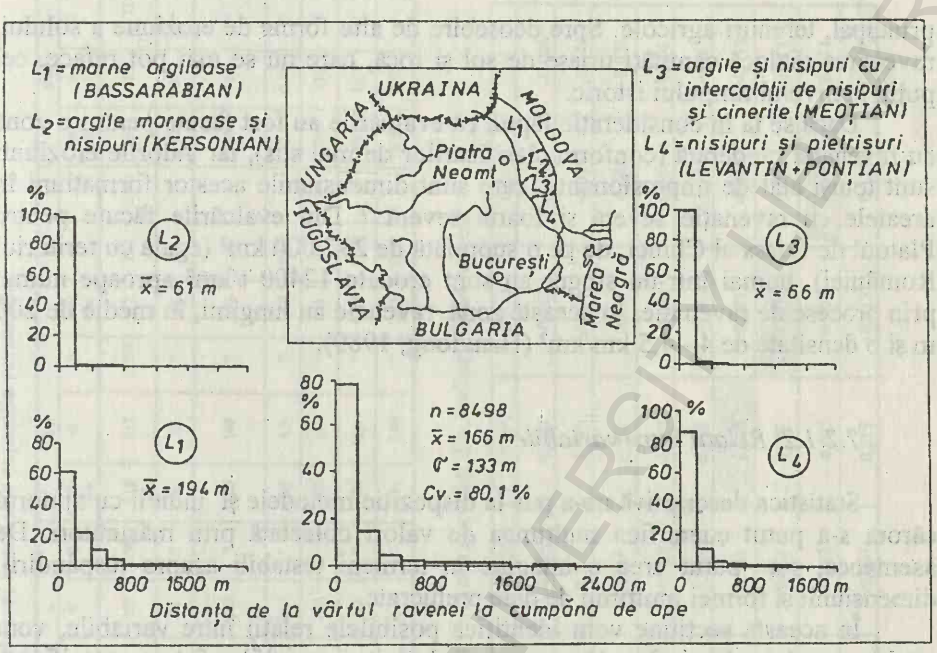


Fig. 7.9. Frecvența numărului de ravene în funcție de distanța de la vârful ravenei la cumpăna de ape.

5. Variabile ce descriu geometria ravenelor inventariate sunt: *adâncimea, lățimea și lungimea*. Statistica descriptivă realizată pentru mulțimile de date ce descriu aceste variabile arată că, pentru întreg teritoriul analizat, adâncimea medie a ravenelor este de 3,46 m, lățimea medie de 11,9 m, iar lungimea medie de 173 m. Efectul litologiei este mult mai sesizabil în separarea dimensiunii ravenelor. Astfel, adâncimea ravenei crește de la nordul la sudul teritoriului conform cu distribuția alcătuirii litologice a depozitelor: adâncimi de 2 m caracterizează ravenele dezvoltate pe marnele argiloase (*L*1), adâncimi de 3 - 4 m pentru ravenele de pe argilele marnoase și nisipuri (*L*2 și *L*3) și 4 - 5 m pe nisipuri și pietrișuri (*L*4). În același mod variază și lățimea ravenei, de la 8 m pentru *L*1, la 12 - 16 m pentru *L*2 - *L*4. De observat că repartiția frecvenței lățimilor ravenelor este bimodală; deci există un factor care determină o polarizare a valorilor în două grupe, una între 0 -16 m și o a doua între 20 - 40 m. Probabil, factorul care determină această polarizare este tipul ravenei: în prima grupă intră, în principal, ravenele de versant; în cea de-a doua se cuprind, mai ales, ravenele de vale cu lățimi, în general, mai mari. În ceea ce privește lungimea ravenelor, media pentru întreg arealul este cuprinsă între 100 - 150 m, cu o ușoară reducere în funcție de gradarea litologiei de la *L*1 la *L*4.

În concluzie, volumul de sol și rocă excavat prin procesul de ravenare în teritoriul dintre râurile Siret și Prut a fost evaluat la 274 milioane m^3. Dacă acest volum este transformat în strat de sol și rocă și se repartizează uniform pe suprafața teritoriului studiat rezultă o grosime de 10,96 m de material. Cifra este impresionantă și aceasta cu atât mai mult cu cât este vorba de o formă de relief profund destructivă, cu vârste de ordinul a 100 - 300 ani și care afectează, în

principal, terenuri agricole. Spre deosebire de alte forme de eroziune a solului, ravenarea dizlocă cantități uriașe de sol și rocă, care nu se mai pot reface, cel puțin la nivelul timpului istoric.

Dacă se ia în considerație faptul că evaluările au fost făcute pentru o zonă cu ravenație moderată (conform clasificărilor de mai sus), iar valorile eroziunii sunt totuși atât de impresionante, care sunt dimensiunile acestor formațiuni în arealele cu ravenație severă și foarte severă ? Din evaluările făcute pentru Platoul de Loess al Chinei, de pe o suprafață de 237 000 km² (egală cu teritoriul României), numai într-un singur an sunt erodate 12400 t/km² aproape numai prin procese de ravenație. În această zonă, ravenele au lungimi, în medie de 200 m și o densitate de 4 - 4,5 km/km² (Hanxiong, 1989).

7.2.1.2. Relații între variabile

Statistica descriptivă ne-a pus la dispoziție metodele și indicii cu ajutorul cărora s-a putut cuantifica mulțimea de valori colectată prin măsurători. De asemenea, s-a putut crea o imagine în termeni testabili asupra răspândirii, dimensiunii și formei mulțimii de date prelucrate.

În această secțiune vom identifica posibilele relații între variabile, vom evalua gradul de influență asupra celorlalte variabile într-o clasificare tipologică. Pentru aceasta este necesară calcularea matricei coeficienților de corelație dintre variabile. Tabelul matriceal (tabel 7.6.) cuprinde 9 variabile care descriu caracteristici ale ravenelor și versanților pe care s-au format:

- expoziția versantului (*EXP*),
- lungimea versantului (*LV*),
- energia versantului (*E*),
- înclinarea versantului (*IV*),
- distanța vârf - cumpănă (*DVC*),
- lungimea ravenei (*LR*),
- lățimea ravenei (*B*),
- adâncimea ravenei (*H*) și
- litologia substratului ravenat (*G*).

Expoziția versanților a fost cuantificată de la 1 la 8 în funcție de direcția punctelor cardinale: N - 1; NE - 2; ...NV - 8, iar litologia în funcție de creșterea conținutului de nisip în depozitele substratului litologic; *L*1 - marne argiloase; *L*2 - argile marnoase și nisipuri; *L*3 - argile marnoase și nisipuri cu intercalații de nisipuri; *L*4 - nisipuri și pietrișuri. Coeficienții de corelație sunt, în general, mai mici, probabil din cauză că nu toate legăturile dintre variabile sunt liniare, dar numărul mare de observații conferă încredere în existența acestor legături.

Matricea de corelație a stat la baza realizării clasificării tipologice a variabilelor (conform algoritmului lui McQuitty, 1957). Pentru aceasta se pleacă de la prima pereche de variabile "reflexive" și se determină următoarele perechi de variabile "reflexive" care se pot, apoi, ordona în clase de variabile aflate în interrelație și în care una sau două variabile au rol de "nod principal" (Norcliffe, 1977).

Tabel 7.5. **Date asupra dimensiunii ravenelor din Podișul Moldovei funcție de expoziția versanților**

Variabila	N			NE			E			SE			S			SW			W			NW		
	media	σ	n	media	σ	n	media	σ	n	media	σ	n	media	σ	n	media	σ	n	media	σ	n	media	σ	n
Lungimea versantului (m)	456	336	448	337	228	2145	445	324	570	287	206	591	407	403	190	315	213	2258	372	191	1121	299	175	1172
Energia de relief (m)	73	240	"	55	32	"	62	36	"	42	24	"	48	31	"	50	26	"	58	28	"	47	31	"
Distanța vârf ravenă-cumpăna ape(m)	206	217	"	131	171	"	203	221	"	89	114	"	173	285	"	118	148	"	168	155	"	88	101	"
Înclinarea versant(%)	15,7	5,59	"	18,4	7,22	"	16,5	6,83	"	17,3	7,42	"	15,84	7,12	"	18,5	8,5	"	17,7	8,65	"	17,3	6,16	"
Lungimea ravenei(m)	208	181	"	172	159	"	206	187	"	171	136	"	200	193	"	162	111	"	163	100	"	175	136	"
Lățimea ravenei(m)	16,4	17,0	"	12,4	17,2	"	13,9	15,2	"	13,7	13,3	"	14,39	15,9	"	9,86	12,31	"	9,48	10,8	"	13,8	16,5	"
Adâncimea ravenei(m)	3,46	3,21	"	3,58	3,54	"	3,57	3,73	"	3,98	3,49	"	3,73	3,78	"	3,05	3,03	"	2,76	2,55	"	4,29	4,07	"

Tabel 7.6. **Matricea de corelație a variabilelor ce descriu ravenele și versanții ravenați din Podișul Moldovenesc**

Variabila	*EXP*	*LV* (m)	*E* (m)	*IV* (%)	*DVC* (m)	*LR* (m)	*B* (m)	*H* (m)	*G*
Expoziția versantului (*EXP*)	1,000	-0,085	-0,055	0,012	-0,085	-0,049	-0,061	-0,012	-0,026
Lungimea versantului (*LV*, m)	-0,085	1,000	0,329	-0,396	0,776	0,583	0,098	-0,019	-0,241
Energia versantului (*E*, m)	-0,055	0,329	1,000	-0,010	0,244	0,201	0,007	-0,044	-0,038
Înclinarea versantului (*IV*, %)	0,012	-0,396	-0,010	1,000	-0,262	-0,283	-0,064	0,094	0,201
Distanța vârf-cumpănă (*DVC*, m)	-0,085	0,776	0,244	-0,262	1,000	0,193	0,060	-0,112	-0,263
Lungimea ravenei (*LR*, m)	-0,049	0,583	0,201	-0,283	0,193	1,000	0,091	-0,035	-0,111
Lățimea ravenei (*B*, m)	-0,061	0,098	0,007	-0,064	0,060	0,091	1,000	0,405	0,213
Adâncimea ravenei (*H*, m)	-0,012	-0,109	-0,044	0,094	-0,112	-0,035	0,405	1,000	0,317
Litologia (*G*)	-0,026	-0,241	-0,038	0,201	-0,263	0,219	0,213	0,317	1,000

BCU CLUJ / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

În cazul de față s-au obținut două clase de variabile (fig. 7.10.): *clasa I-a* în care "nodul principal" este format din lungimea versantului (*LV*); de această variabilă sunt legate energia versantului, panta, lungimea ravenei și distanța de la vârful ravenei la cumpănă de ape; *clasa a II - a*, în care nodul principal este format de alcătuirea litologică (*G*) a depozitelor de ravenă, de care depinde atât lățimea cât și adâncimea ravenei.

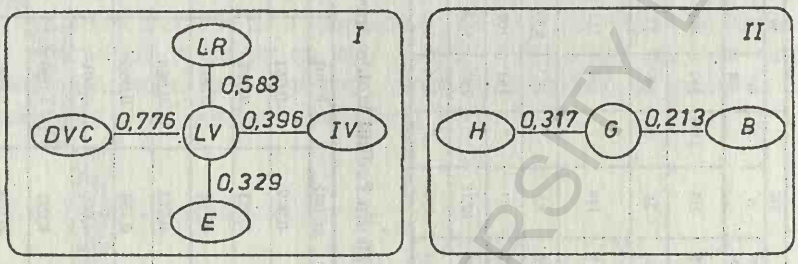


Fig. 7.10. Clasificarea tipologică a variabilelor rezultate din inventarierea ravenelor din teritoriul cuprins între râul Prut și râul Siret (Rădoane, Rădoane, 1992).

În concluzie, pentru zona dintre Siret și Prut, de aproximativ 25 000 km² putem aprecia că există trei factori de control de ordin regional care controlează densitatea și intensitatea fenomenului de ravenație, și anume:

- o variabilă de ordin morfologic - *lungimea versantului*;
- o variabilă de ordin litologic - *creșterea conținutului de nisip* în depozitele ravenate;
- o variabilă de ordin structural - *expoziția versanților*, care în cazul de față, nu exprimă condiții climatice, ci evidențiază structura de monoclin a podișului, favorabilă reliefului de cuestă.

7.2.2. Caz studiu: eroziunea prin ravenație într-un climat temperat cald al Africii de Sud (Lesotho)

Cercetările asupra distribuției ravenelor au fost realizate de Nordstrom (1988) pentru 8 bazine hidrografice din Lesotho, utilizând un sistem de carouri de 0,04 km². Unele caracteristici ale acestor bazine sunt expuse în tabelul 7.7.

Inventarierea ravenelor pentru aceste zone s-a realizat utilizând aerofotograme în scara 1:200000. Arealele cu ravene au fost măsurate folosind un areametru propus și descris de Ekman și Wastensson (1968, cit. Nordstrom, 1988). Este o metodă fotoelectrică prin care o fotocelulă detectează arealele negre pe suprafețele albe. Eroarea maximă a aparatului este de 4%. Inventarierea a dat posibilitatea studierii gradului de eroziune în ravenele din bazinele respective și evoluția sau creșterea în suprafață (expansiunea) și a densității de drenaj (extensiunea) în perioada 1950 - 1961/62, 1961/62 - 1979/80. A fost posibil astfel să se calculeze ratele anuale ale evoluției ravenelor pentru perioade de 11 - 12 ani și 17 - 20 ani.

Tabel 7.7. **Date asupra celor 8 bazine de drenaj luate în studiu**

	Leribe		Maseru		Mafeteng		Mohales Hoek	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Localizarea	28°57'S 28°03'E	28°58'S 28°05'E	29°19'S 27°37'E	29°16'S 27°38'E	29°40'S 27°16'E	29°42'S 27°23'E	30°05'S 27°05'E	30°14'S 27°27'E
Suprafața (km²)	10,2	5,7	6,0	2,5	5,0	4,1	6,2	6,1
Altitudinea medie (m)	1670	1741	1710	1743	1609	1693	1532	1563
Precipitații medii anuale (mm)	785	785	684	684	705	705	727	727
Numărul de zile/an cu P>1mm	72	72	70	70	54	54	69	69
Numărul de zile/an cu P>10mm	27	27	22	22	24	24	26	26
Numărul de zile/an cu P>25mm	7	7	6	6	0	0	9	9
Temperatura medie anuală (°C)	14,5	14,5	15,3	15,3	14,9	14,9	16,0	16,0
Evaporația medie anuală (mm)	2000	2000	2130	2130	2080	2080	2080	2080
Umiditatea relativă medie anuală (%)	61	61	57	57	53	53	49	49
Formațiuni geologice	*A*	*B*	*C*	*D*	*E*	*F*	*G*	*H*
Suprafața cultivată (%)	53	51	53	36	75	56	52	56

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

Suprafața păşunată şi terenuri marginale (%)	35	44	42	59	18	40	44	31
Suprafețe cu aşezări (%)	12	5	5	5	7	4	4	13
Păduri (%)	4	0	5	0	0	0	0	0

Inventarierea de pe aerofotograme a fost secondată de o cartare în teren prin care s-au înregistrat: ocurența *piping* - ului, rezistența rocii în care sunt adâncite ravenele, formele secțiunilor transversale, pantele deasupra vârfurilor ravenelor, secțiunile transversale la 5 m de la vârfurile ravenelor. Pentru fiecare carou de 4 ha s-au notat variabilele redate în tabelul 7.8.

Tabel 7.8. **Variabile inventariate pe baza metodei caroiajului în 8 bazine hidrografice, din Lesotho, cu procese de ravenație**

Variabila	Unități de măsură/Clase
Lungimea ravenei	metri
Vârfuri de ravenă	număr
Adâncimea ravenei	1 – 3
Prezența *piping* - ului	1 – 3
Clasificarea SARCCUS a eroziunii prin ravene	1 – 5
Clasificarea SARCCUS a eroziunii în suprafață	1 – 5
Panta	%
Soluri duplex	1 – 5
Erodabilitatea solului	1 – 5
Utilizarea terenurilor	1 – 5

Limitele claselor pentru unele din variabilele redate în tabelul 7.8 au fost evaluate conform următoarelor date:

Prezența piping -ului

1. clasa 1: *piping* nedetectat;
2. clasa 2: *piping* detectat mai mic de 50% din malurile ravenei;
3. clasa 3: *piping* detectat mai mare de 50% din malurile ravenei.

Erodabilitatea solului (K) a fost introdusă în ecuația USLE de către Wishmeier şi Smith (1978) şi ia în considerație textura şi structura solului, conținutul de materie organică şi permeabilitatea. Autorii stabilesc 5 clase de erodabilitate după următoarea schemă:

Solurile duplex:

1. clasa 1 nici un sol duplex în carou;
2. clasa 2: <25% din suprafața caroului acoperită de soluri duplex;

BCU "Ion Creangă" CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

3. clasa 3: 25 - 50% din suprafața caroului acoperită de soluri duplex;
4. clasa 4: 50 - 75% din suprafața caroului acoperită de soluri duplex;
5. clasa 5: >75% din suprafața caroului acoperită de soluri duplex;

Tabel 7.9. **Stabilirea claselor de erxodabilitate**

Roca *in situ* sau depozite de versant (% din carouri)	K < 0,25 (% din carouri)	0,25 < K < 0,50	K > 0,5	Clasa de erodabilitate
100	0	0	0	1
>75	<25	0	0	1
>75	0	<25	0	2
>75	0	0	<25	2
50 - 75	25 - 50	0	0	2
50 - 75	0	25 - 50	0	3
50 - 75	0	0	25 - 50	3
25 - 50	50 - 75	0	0	2
25 - 50	0	50 - 75	0	3
25 - 50	0	0	50 - 75	4
<25	>75	0	0	2
<25	0	>75	0	3
<25	0	0	>75	4
0	100	0	0	3
0	>75	<25	0	3
0	>75	0	<25	3
0	50 - 75	25 - 50	0	3
0	50 - 75	0	25 - 50	4
0	25 - 50	50 - 75	0	3
0	25 - 50	0	50 - 75	4
0	<25	>75	0	4
0	<25	0	>75	4
0	0	100	0	4
0	0	>75	<25	4
0	0	50 - 75	25 - 50	4
0	0	25 - 50	50 - 75	4
0	0	<25	>75	5
0	0	0	100	5

Adâncimea ravenei:
1. clasa 1: < 3m;
2. clasa 2: 4 - 10 m;
3. clasa 3: >10m.

Clasificarea SARCCUS a eroziunii areale și prin ravenație:
1. clasa 1: nu există eroziune aparentă;
2. clasa 2: eroziune redusă;
3. clasa 3: eroziune moderată (<25% din suprafața caroului afectat);
4. clasa 4. eroziune severă (25 - 50% din suprafața caroului afectat);
5. clasa 5. eroziune foarte severă (>50% suprafața caroului afectat).

Utilizarea terenurilor: această clasificare este aproximativă. S-a considerat că cel mai mare potențial pentru scurgere există în arealele locuite (clasa 5) apoi pentru suprafețele cultivate (clasa3) și pentru suprafețele pășunate (clasa1). Clasele intermediare 2 și 4 s-au propus în funcție de prezența într-un

BCU IAȘI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

carou a uneia sau mai multe utilizări de teren.

Fiecare carou din bazinele hidrografice cercetate a primit câte o valoare a parametrului desemnat. Bazinele au fost analizate separat, apoi împreună. Parametrii au fost comparați statistic folosind coeficienții de corelație ai rangurilor Spearman, care este un test neparametric ce se poate aplica variabilelor înregistrate pe scară ordinală și nominală.

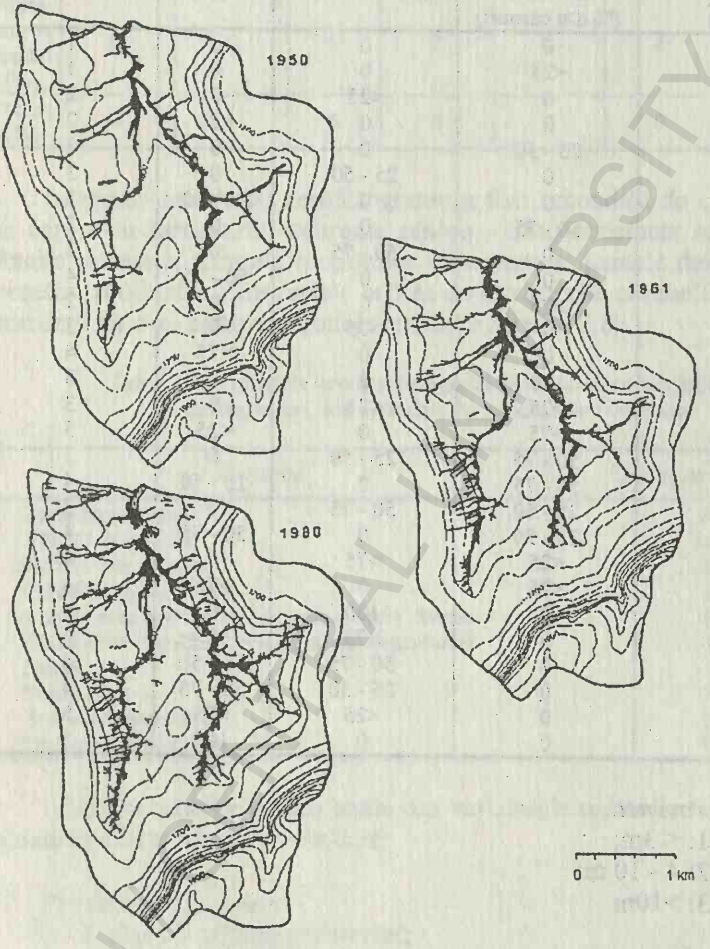


Fig. 7.11. Extinderea ravenelor în trei bazine experimentale (Leribe 1) evaluate prin analiza aerofotogramelor.

Rezultatele distribuțiilor ravenelor, în bazine hidrografice, pe baza interpretării aerofotogramelor sunt parțial arătate în figura 7.11 și tabelul 7.10. Din datele prezentate se constată că ritmurile de creștere a ravenelor în aceste ținuturi sunt impresionante, atingând valori maxime de 70 - 80 m/km²/an. Ratele de creștere în suprafață ale ravenelor sunt de 6 ori mai mari decât ratele de avansare a acestora. Multe dintre ravenele luate în observație în 1950 s-au extins în lungime, în mod considerabil, prin formarea de noi vârfuri, în special, către est și vest (fig. 7.11.).

Tabel 7.10. **Rezultatele interpretării aerofotogramelor, măsurătorile și calculele lungimilor, suprafețelor și pragului de obârșie ale ravenelor**

	Leribe		Masero		Mafeteng		Mohales Hoek	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Densitatea de drenaj (10^3 m/km²)								
1950	1,7	1,9	2,0	4,1	1,6	2,4	3,2	2,0
1961/62	2,5	2,7	2,1	5,1	2,2	3,1	3,9	2,8
1979/80	3,5	3,7	2,6	5,5	3,6	3,9	5,0	3,1
Suprafața ravenei (10^4 m²/km² sau % din suprafața bazinului)								
1950	4,6	4,2	5,6	11,9	5,1	4,7	6,3	4,6
1961/62	6,6	6,5	5,8	12,5	5,3	6,2	9,0	4,8
1979/80	7,6	7,7	7,1	13,6	7,7	6,6	11,5	6,8
Obârșii de ravene (obârșii/km²)								
1950	8	6	6	18	4	6	12	8
1961/62	14	13	8	25	8	8	15	13
1979/80	25	23	14	32	19	14	24	18
Obârșii de ravene discontinue (obârșii/km²)								
1950	0,4	3,0	0,7	3,2	1,2	2,0	4,5	2,0
1961/62	1,6	5,4	1,5	2,8	1,6	2,0	4,7	2,6
1979/80	4,2	8,4	2,0	1,6	6,6	2,7	5,8	3,6
Obârșii de ravene discontinue (% din numărul total de obârșii)								
1950	5	47	11	18	33	31	38	24
1961/62	11	42	19	11	21	25	32	21
1979/80	17	36	15	5	34	19	24	20
Volumul (10^5 m³/km²)								
1979/80	4,6	5,0	4,8	6,8	2,1	2,8	3,4	2,2
Rata extensiunii (m/km²/an)								
1950 - 1961/62	69	72	15	86	47	66	58	72
1961/62 - 1979/80	53	52	25	26	80	47	61	18
1950 - 1979/80	59	59	21	48	67	55	60	41
Rata expansiunii (10^2m²/km²/an)								
1950 - 1961/62	18	21	2	6	2	14	25	2
1961/62 - 1979/80	5	6	7	6	13	2	13	12
1950 - 1979/80	10	12	5	6	9	6	17	8
Rata de dezvoltarea obârșiilor de ravene (obârșii noi/km²/an)								
1950 - 1961/62	0,6	0,6	0,2	0,6	0,4	0,2	0,3	0,4
1961/62 - 1979/80	0,6	0,5	0,3	0,4	0,6	0,3	0,5	0,3
1950 - 1979/80	0,6	0,6	0,3	0,5	0,5	0,3	0,4	0,3
Raportul extensiune/expansiune (m^{-1})								
1950 - 1961/62	0,04	0,03	0,10	0,16	0,26	0,05	0,02	0,38
1961/62 - 1979/80	0,10	0,09	0,03	0,04	0,06	0,28	0,05	0,02
1950 - 1979/80	0,06	0,05	0,04	0,08	0,07	0,09	0,03	0,05

Aproximativ 50% din aceste ravene sunt adâncite în soluri duplex; un procent important al acestora au patul albiei format pe roca *in situ* (gresie în principal), ceea ce favorizează o creștere a lărgimii lor. *Piping*-ul este un

fenomen comun în toate situațiile cercetate. Gurile de ieșire ale tunelelor de sufoziune se află în baza abrupturilor de obârșie ale ravenelor; abrupturile pot avea înălțimi de 6 m, iar diametrele tunelurilor pot fi mai mari de 1 m. Ravenele sunt, în mod obișnuit adânci (rareori depășesc 10 m), au formă de "V" în cazul tributarilor, și formă de "U" sau trapezoidală în cazul trunchiurilor de ravenă.

O parte importantă a rezultatelor cercetării ravenației în acest ținut s-a concentrat asupra ierarhizării factorilor de control. După opinia autorului sunt necesare două condiții prealabile pentru ca ravenația să fie inițiată:

- material disponibil în care să se dezvolte ravenele;
- agentul de eroziune, respectiv, scurgerea de suprafață și subsuprafață.

Aceste condiții prealabile sunt afectate mai mult sau mai puțin și în diferite moduri de următorii factori de control:

1. *Morfologia bazinului hidrografic.* S-a observat că ravenele nu necesită pante mari pentru a se putea dezvolta. Ravenele și vârfurile de ravenă au fost inventariate pe pante foarte mici (< 2%). Cu cât ravena se extinde spre partea superioară a versantului cu atât suprafața bazinului și lungimea ravenei se reduc. Aceasta la rândul ei reduce rata de retragere a ravenei, întrucât din ce în ce mai puțină apă va fi colectată la vârful ravenei. De aceea, o pantă medie cu valoare mare deasupra vârfului de ravenă ar fi mai degrabă o dovadă că vârfurile de ravenă s-au extins și au ajuns foarte aproape de cumpăna de ape, decât că este un factor care a contribuit la accelerarea eroziunii în ravene într-un bazin de drenaj. Într-un stadiu primar, în ciclul de eroziune a ravenelor, pantele medii de deasupra vârfurilor, în situațiile în care acestea nu s-au extins spre cumpăna de ape, sunt mai mici.

În general, cu cât densitatea de drenaj este mai mare cu atât un bazin este mai sever erodat și cu atât ravenele s-au extins mai mult spre cumpăna de ape. Dacă panta nu are un impact direct pronunțat asupra ravenației dintr-un bazin, ea poate contribui, în schimb, în mod indirect. Materialul erodat se concentrează, prin transport fluvial și procese de versant în părțile bazale cu pantă mai mică ale bazinului, fiind disponibil, astfel, pentru ravenație. Acest material, predominant argilos, favorizează dezvoltarea solurilor duplex în care apa de infiltrație creează tunele de sufoziune. Așa se explică de ce în matricea de corelație (tabel 7.11), corelația dintre pantă și *piping* este negativă. Pe scurt, efectele pantei asupra ravenației nu sunt imediate.

2. Un alt element morfologic important în controlul ravenației *este lungimea versantului.* O corelație directă între cele două variabile nu s-a putut verifica, din cauză că versanții bazinelor studiate au fost terasați. Cu toate acestea, terasele au favorizat inițierea de numeroase vârfuri de ravene, în care un rol important l-a avut și fenomenul de *piping.*

Rezultatele acestui inventar au fost rezumate, de asemenea, într-o serie de hărți ale intensității eroziunii terenurilor, din care câteva sunt exemplificate în fig. 7.12. Eroziunea severă și foarte severă caracterizează părțile convexe ale bazinului, dar și părțile relativ netede ale bazinelor care au un grad ridicat de degradare din cauza dezvoltării pe adâncime a ravenelor în depozitele coluviale. Alți factori de control investigați au fost precipitațiile (regimul pe timp scurt și lung), alcătuirea geologică și solurile, rolul nivelului de bază, tipul de vegetație și impactul uman. Nici unul din acești factori nu a fost posibil de selectat ca

având o pondere foarte importantă, cu excepția poate a morfologiei bazinului hidrografic. Aceasta deoarece bazine cu aceleași caracteristici ale factorilor enumerați s-au comportat diferit sub aspectul inițierii și evoluției ravenelor. Este motiv pentru care autorul invocă, din nou, teoria pragurilor, atingerea și depășirea valorilor critice prin conlucrarea variabilelor intrinsece și extrinsece.

Tabel 7.11. **Rezultatele analizei coeficienților de corelație a rangurilor Spearman a parametrilor evaluați prin metoda caroiajului**

	Leribe 1	Maseru 1	Mafeteng 1	Mohales Hoek 1	Alte 4 bazine de drenaj
Numărul de clase	114	59	69	117	359
Corelația cu lungimea ravenei					
Erodabilitatea solului	(0,09)	0,38*	(-0,01)	0,38	0,21
Soluri duplex	(0,05)	(0,24)	(0,11)	0,34	0,17*
Panta	-0,26*	-0,40*	(-0,01)	(-0,17)	-0,21*
Utilizarea terenurilor	(-0,02)	(0,14)	(0,16)	(0,18)	(0,09
Piping	0,43	0,37*	0,56)	0,41	0,43
Adâncimea ravenei	0,60	0,58	0,59	0,47	0,54
Obârșii de ravene	0,47	0,29**	0,29**	0,33	0,36
Eroziune în suprafață (clasificarea SARCCUS)	(0,02)	(0,01)	0,31**	(0,11)	(0,10
Eroziunea în ravene (clasificarea SARCCUS)	0,63	0,45	0,59	0,33	0,50
Corelația cu eroziunea în ravene (clasificarea SARCCUS)					
Erodabilitatea solului	(-0,03)	0,56	(0,12)	(0,17	0,11**
Soluri duplex	(0,02)	0,43*	(0,11)	0,19**	(0,05)
Panta	-0,36	-0,52	(-0,04)	-0,27*	-0,24
Utilizarea terenurilor	(0,15)	0,44*	0,26**	(0,17)	0,20
Piping	0,35	0,31**	0,44	0,24**	0,34
Adâncimea ravenei	0,49	0,34**	0,38*	0,33	0,45
Obârșii de ravene	0,24**	(-0,12)	(-0,02)	(-0,09)	(0,02)
Eroziune în suprafață (clasificarea SARCCUS)	(0,05)	(-0,07)	0,28**	0,21**	(0,08)
Corelația cu *piping*-ul					
Erodabilitatea solului	(-0,06)	0,33**	(-0,13)	(0,13)	(0,04)
Soluri duplex	0,25*	0,29**	(0,10)	(0,10)	0,16*
Panta	-0,23**	(-0,23)	(-0,13)	-0,32	-0,25
Utilizarea terenurilor	(0,11)	(0,22)	0,32**	0,21**	0,21
Adâncimea ravenei	(0,60)	0,30**	0,44	0,23**	0,40
Obârșii de ravene	(0,14)	(-0,13)	0,31**	(0,03)	(0,05)

(0.10) nivel de încredere de 99,9 %
* nivel de încredere 99%
** nivel de încredere 95%

Problema este că într-un studiu pe mari regiuni și numai pe baza evaluărilor statistice nu se poate ajunge la rezultate în care echivocul să fie cu totul eliminat, cum bine s-a exprimat Ioniță (1998) în lucrarea sa de doctorat, intitulată "Studiul geomorfologic al degradărilor de teren din bazinul mijlociu al Bârladului".

B.C.U. „M. EMINESCU" IA
GEO-LOGIE-GEOGRAFIE

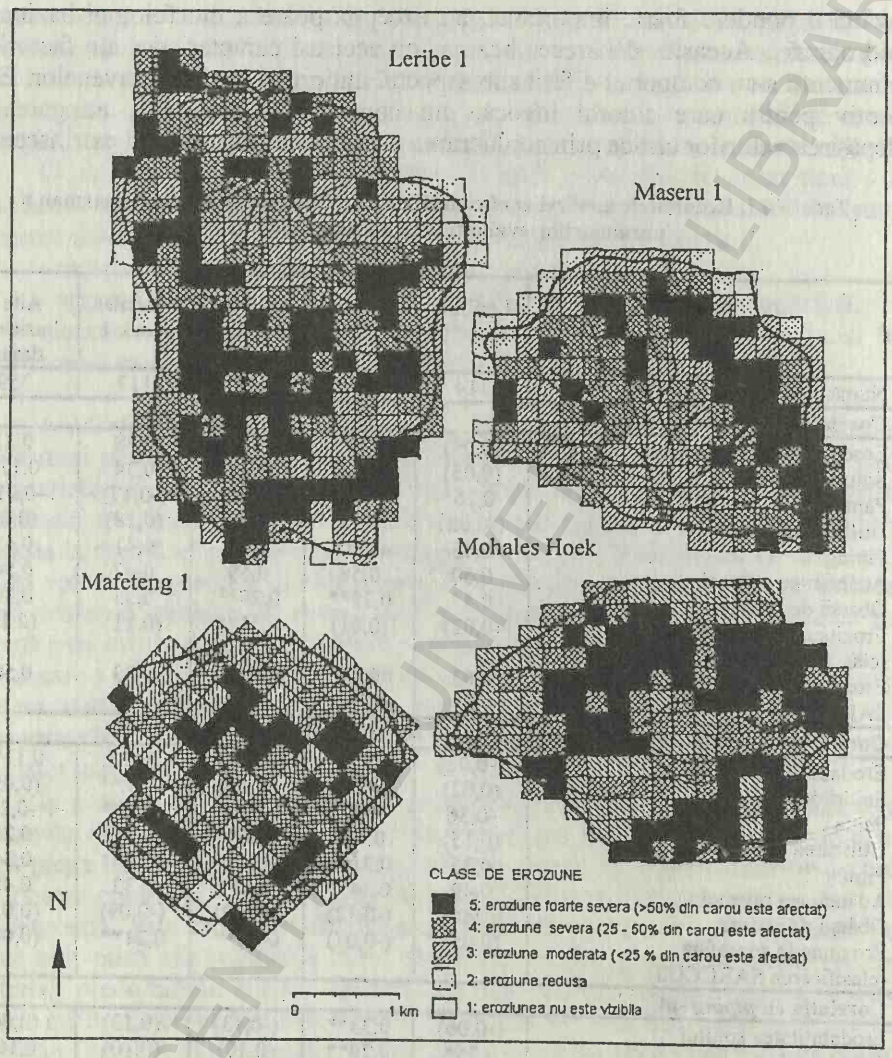


Fig. 7.12. Harta eroziunii terenurilor în câteva bazine experimentale, conform clasificarii SARCCUS.

Este problema cu care ne-am întâlnit şi noi în inventarierea ravenelor pentru teritoriul dintre râurile Siret şi Prut. De aceea, am găsit de cuviinţă că fenomenul trebuie studiat la scară mult mai mare şi că trebuie îmbinate metode de cercetare performante, atât cât ne-a permis suportul financiar necesar unor asemenea cercetări. Secţiunile următoare ale lucrării au în vedere asemenea abordări ale fenomenului cercetat.

BCU / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

8. GEOMORFOMETRIA RAVENELOR

Măsurătorile și observațiile sistematice asupra dinamicii ravenelor, necesare în construirea modelelor de evoluție sunt relativ puține și inconsistente; aceasta rezultă în mod firesc și din cauza cheltuielilor mari pe care le presupune un program extins de acest gen. Geomorfologia, prin instrumentele ei de analiză, oferă repere indirecte de realizare a modelelor de prognoză. Aceste repere constau în puterea de diagnoză a parametrilor morfometrici a unei forme de relief.

În literatura de specialitate se vorbește de „geometria formelor de relief" (de exemplu, geometria meandrelor - Langbein, Leopold, 1966; geometria conurilor aluviale - Hooke, Rohrer, 1979; geometria hidraulică - Leopold, Maddock, 1953). Termenul și conceptul de „geomorfometrie" au fost propuse și dezvoltate de către Evans (1969) cu aplicație la circurile glaciare. În 1972, autorul face diferențierea între:

- *geomorfometria generală*, care reprezintă măsurarea și analiza acelor caracteristici ale formelor de relief care sunt aplicabile la orice suprafață neregulată continuă și
- *geomorfometria specifică*, care reprezintă măsurarea și analiza formelor de relief specifice, cum sunt circurile, drumlinurile, albiile de râu, ravenele etc. ce pot fi separate de părțile adiacente ale suprafeței terenului conform unor criterii clare de delimitare. Autorul este de acord cu sugestia lui Tricart (1947) de a se adăuga prefixul „geo" la mai mult decât folositul „morfometrie" pentru a face distincția între măsurile formelor de relief de cele ale formelor zoologice, ale particulelor sedimentare ș.a.

Un studiu de geomorfometrie specifică a fost aplicat la ravenele din Podișul Moldovenesc măsurate de noi și prezentate în tabelul 5.1., pe baza variabilelor morfometrice date în tabelul 5.2. (a se vedea cap. 5 pentru metodologia obținerii variabilelor morfometrice). Rezultatele acestui studiu sunt ordonate în următoarele secțiuni:

- asupra dezvoltării alometrice a ravenelor;
- efectul compoziției granulometrice a depozitelor din ravene;
- procese geomorfologice din sistemul ravenei;
- forma profilului longitudinal;
- problema vârfurilor de ravenă.

8.1. Asupra dezvoltării alometrice a ravenelor

Conceptul de geometrie hidraulică, definit și dezvoltat de Leopold și Maddock (1953), este, după opinia lui Woldenberg (1966), unul dintre cele mai clare exemple de alometrie în geomorfologie. Întrucât mulți autori văd în ravene „un mugure de vale" (metafora îi aparține lui Vâlsan, 1945, care spune, de fapt, că „orice torent este un mugure de vale" însă printr-o extindere forțată o atribuim și ravenelor), considerăm că modelul de creștere alometrică se aplică într-o manieră asemănătoare și ravenelor.

Abordarea geometriei hidraulice se bazează pe ajustarea mutuală între forma albiei și debitul lichid, în timp ce pentru ravene abordarea creșterii alometrice trebuie să se bazeze numai pe variabile morfometrice întrucât nu dispunem de nici o mărime a forțelor de eroziune în ravenă. De aceea, problema este cea a găsirii unei variabile morfometrice capabilă să înlocuiască mărimea unei forțe de „curățire" și modelare a secțiunii transversale a ravenei. Există pentru aceasta cel puțin două variabile:

1. *Suprafața de drenaj* este considerată o variabilă de maximă eficiență în controlul unui mare număr de variabile morfometrice dintr-un sistem hidrografic. În cazul ravenelor, eficiența maximă în controlul evoluției lor o are suprafața de drenaj amonte de vârful ravenei. Există însă următoarea situație, cel puțin pentru ravenele studiate de noi, *cu cât acestea sunt mai bine dezvoltate, cu atât suprafețele de drenaj amonte de vârfurile ravenelor sunt mai mici și mai dificil de conturat* (mai ales pentru acelea ale căror vârfuri ajung aproape de cumpăna de ape sau „punctul de echilibru"). Această situație ne-a condus să alegem cea de a doua variabilă independentă, și anume:

2. *Distanța de la vârful la gura ravenei* (*DVF*) ca variabilă independentă, motivată de faptul că zona de obârșie a ravenelor se modifică foarte rapid și atrage după sine modificarea tuturor parametrilor geometrici din aval (Seginer, 1966).

Astfel, adoptarea unei baze alometrice pentru caracterizarea morfometriei ravenelor are ca punct de sprijin relațiile alometrice în care distanța de la vârful ravenei (*DVF*) este variabila independentă, iar măsurile dimensiunii și formei ravenelor sunt variabile dependente într-o varietate de scări. S-au luat în considerație 17 variabile dependente enumerate în tabelul 5.2. Asupra tuturor acestora s-au aplicat transformările logaritmice zecimale, atât pentru a crește normalitatea datelor, cât și pentru a obține ecuații de tipul funcției de putere:

$$\lg Y = a + b \lg X$$

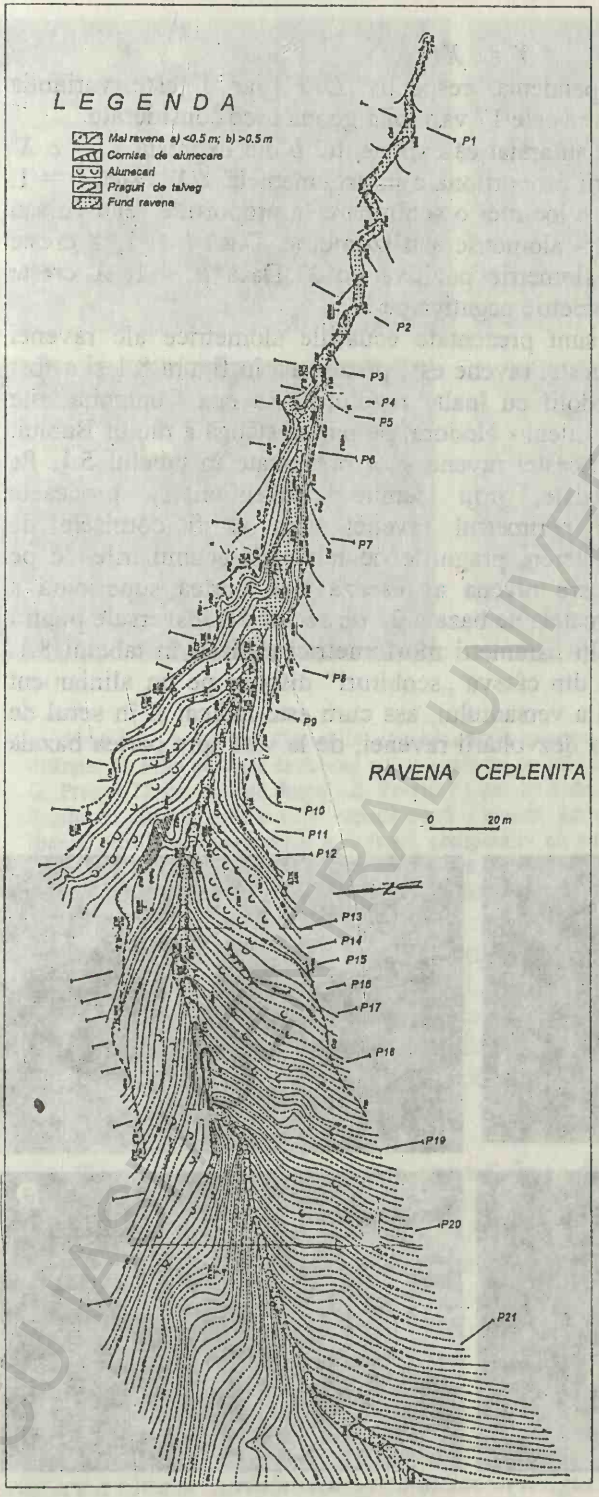


Fig. 8.1. Ravena Cepleniţa, situată în apropiere de Hârlău. Plan de situaţie.

BCU IAȘI CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

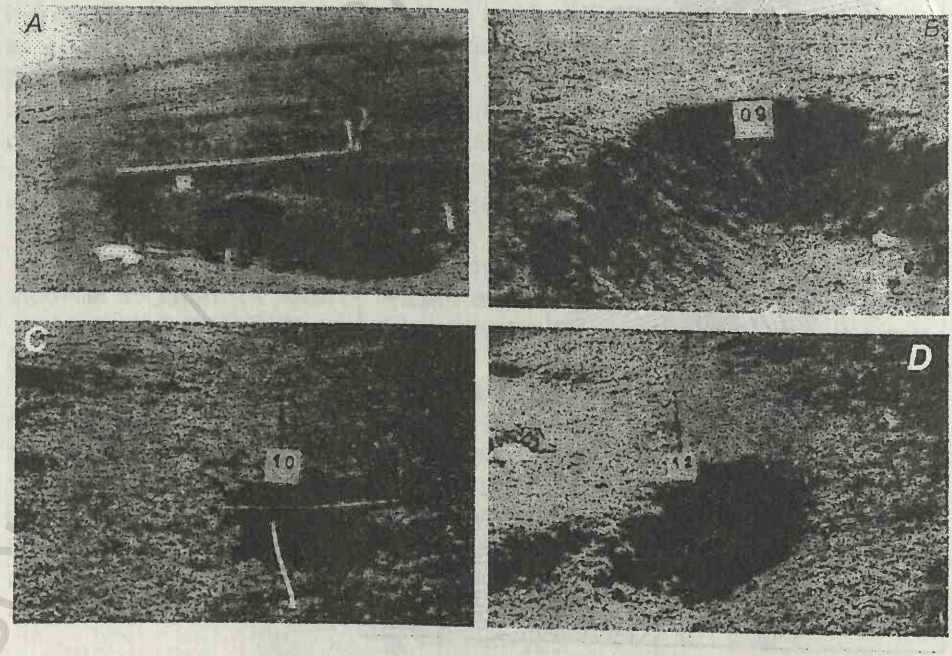
sau

$$Y = a X^b$$

unde X este variabila independentă, respectiv *DVF*, iar Y este variabila dependentă, respectiv, una dintre cele 17 variabile geometrice considerate.

Church și Mark (1980) au arătat că exponentul b din expresia $Y = a X^b$ reprezintă constanta schimbării proporționale în argumentele *Y/X*. Dacă $b = 1$, raportul este constant și nu are loc nici o schimbare în proporțiile relative sau formă. Acesta este cazul non - alometric sau izometric. Dacă $b > 1$, Y crește proporțional cu X și există alometrie pozitivă pe Y. Dacă $b < 1$, X crește proporțional cu Y și există alometrie negativă pe Y.

Pentru exemplificare, sunt prezentate ecuațiile alometrice ale ravenei Cepleniţa. Forma în plan a acestei ravene este prezentată în figura 8.1 și a fost ridicată cu ajutorul unui teodolit cu înaltă rezoluție. Ravena Cepleniţa este situată în perimetrul Hârlău - Liteni - Hodora, pe partea stângă a râului Bahlui. Câteva date generale asupra acestei ravene sunt prezentate în tabelul 5.1. Pe planul topografic sunt redate, prin semne convenționale, procesele geomorfologice actuale din perimetrul ravenei cum ar fi cornișele de desprindere și alunecările de teren, pragurile de talveg și acumulările de pe fundul ravenei, traseul pe care ravena avansează spre partea superioară a versantului. Ravena a fost cercetată pe baza a 21 de secțiuni transversale pentru care s-au determinat mai mulți parametri morfometrici utilizați în tabelul 8.1. Obârșia ravenei este formată din câteva „scobituri" dispuse pe un aliniament sinuos spre partea superioară a versantului, așa cum este indicat și în setul de fotografii luate în succesiunea dezvoltării ravenei, de la vârf spre partea bazală (foto 8.1).



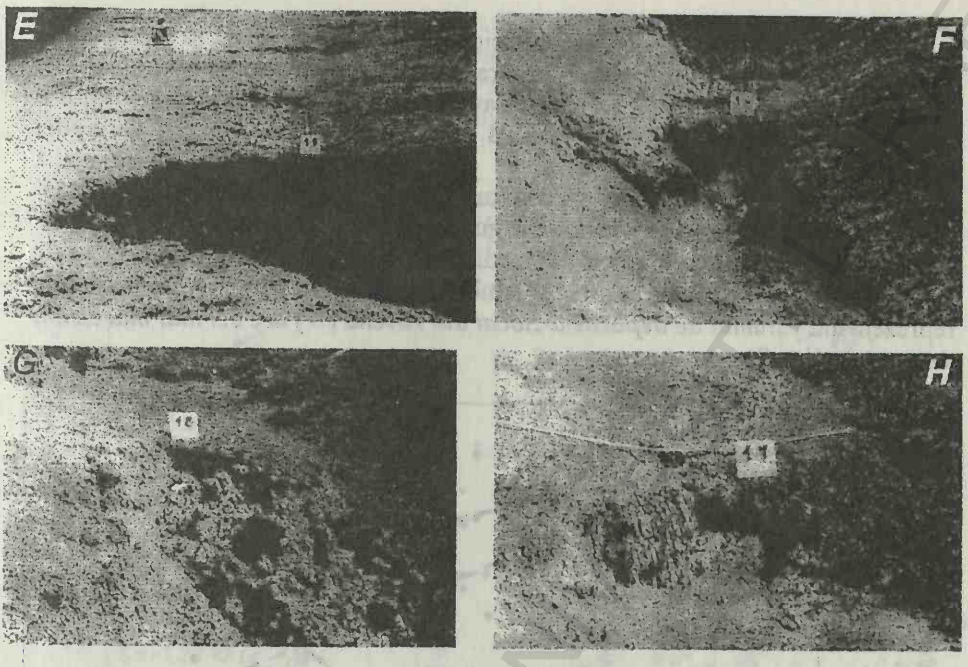


Foto 8.1. *A.* Ravena Cepleniţa: „scobitură" în sectorul de iniţiere a ravenei; *B.* Prag de obârşie; *C.* Prag pe linia de drenaj situat avale de pr. 09 (liniile din fotografie măsoară 1 m); *D.* Pragul 12 pe linia de drenaj; *E.* Pragul 13 pe linia de drenaj (în amonte este colegul V. Surdeanu într-un moment de repaus după o muncă istovitoare, iulie 1988); *F.* Pragul 14 (panta profilului longitudinal a crescut, comparativ cu situaţia din amonte); *G.* Pragul 16: panta accentuată a liniei de versant favorizează procesele de deplasări în masă; *H.* Pragul 17, puternic afectat de mişcări în masă (foto N. Rădoane).

Alături de coeficienţii funcţiei (coeficientul *a* şi exponentul *b*), în tabel sunt cuprinşi coeficientul de corelaţie (*r*), coeficientul de determinare (r^2 x 100, care indică procentul din variabila dependentă, explicat de variaţia celei independente), eroarea standard de estimaţie (*ESE*). Coeficienţii de corelaţie sunt semnificativi la nivelul de 0,001 pentru toate cele 17 ecuaţii, servind la demonstrarea aplicabilităţii modelului alometric în caracterizarea variaţiei morfometriei în profil longitudinal.

Coeficienţii de determinare variază între 50 - 90%, mai mici fiind în cazul pantei în lungul ravenelor. Aceasta arată o independenţă a pantei faţă de creşterea lungimii ravenelor.

În cazul funcţiilor analizate, coeficienţii *a* şi *b* se mai numesc şi *parametri alometrici*, întrucât ei indică natura şi direcţia schimbărilor morfometrice în cadrul unei ravene, în special valoarea exponentului *b*. Observaţiile le putem grupa astfel:

1. Cu excepţia variaţiei pantei ravenei în funcţie de creşterea distanţei de la vârf, toate celelalte funcţii au exponentul *b* cu semn pozitiv, ceea ce indică *o creştere a tuturor variabilelor geometrice în lungul ravenei*;

2. Un grafic de corelație a coeficientului *a* cu *b* ne ajută să diferențiem variabilitatea schimbărilor în geometria ravenelor. Nu toți parametrii geometrici au aceeași rată a schimbării în lungul ravenei; cu cât valoarea exponentului *b* este mai mare, cu atât mai rapidă este schimbarea valorii variabilei morfometrice a ravenei (fig. 8.2.). Se poate constata o tendință comună a ravenelor Ceplenița și Giurgeni de a-și mări dimensiunile într-un ritm mult mai crescut, diferită de cea a ravenelor Gurguiata, Secărești, Coada Gâștei. Acestea din urmă se înscriu în comun pe altă tendință de evoluție, cu un ritm mai lent de schimbare. De asemenea, în cazul ambelor grupe se observă că variabila reprezentând *volumul de depozite dizlocat din ravenă* (*W*) *are cel mai mare ritm de creștere* (*b* > 2).

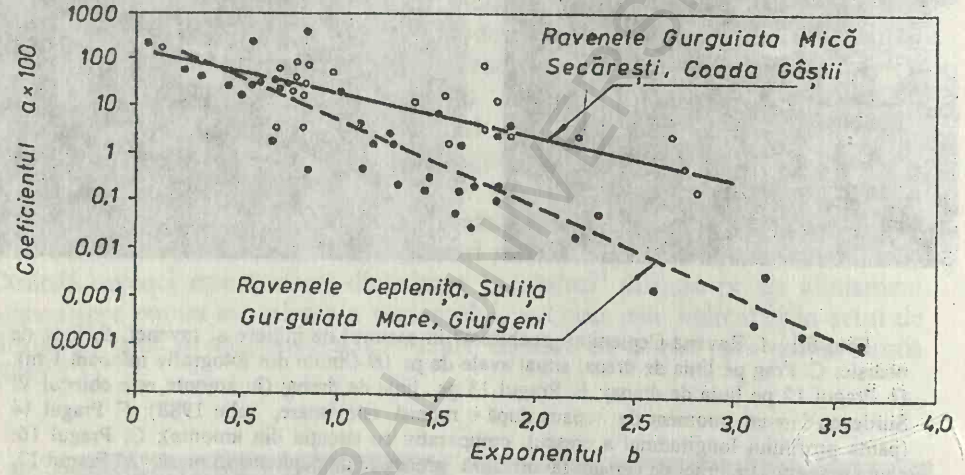


Fig. 8.2. Corelație între parametrii alometrici ai ravenelor studiate (Rădoane et al., 1988).

La finalul acestor considerații, găsim necesar să prezentăm și unele grafice ale funcțiilor alometrice determinate, și anume, dezvoltarea ravenelor în secțiune transversală (*SS*) și ca suprafață desfășurată (*SA*) în funcție de creșterea distanței de la vârful ravenei (*DVF*) (fig. 8.3).

Constatăm că variabila independentă, respectiv, distanța de la vârful ravenei, explică în proporție de 90% varianța parametrilor exemplificați pentru fiecare ravenă. Cele mai bune corelații sunt pentru ravenele Ceplenița, Gurguiata, Secărești, ravene caracterizate printr-o dezvoltare cvasi-uniformă, ordonată a sectiunii transversale în profil longitudinal. De asemenea, la unele ravene (Coada Gâștii, Ceplenița) există un paralelism al ratei dezvoltării în suprafață și în adâncime, în timp ce la celelalte ravene exemplificate se observă că în suprafață creșterea este mult mai rapidă decât în adâncime, la unele cu aproape de două ori mai repede.

Încercarea de a pune în corelație întreaga populație de ravene (amonte de 133 secțiuni transversale) a dus, așa cum era de așteptat, la o reducere sensibilă a coeficienților de corelație, ca efect direct al faptului că nu toate ravenele au același ritm de creștere alometrică. Este vizibilă, de asemenea, diferențierea de

rată a creșterii în suprafață (exponent = 1,852) și a creșterii în adâncime (exponent = 1,258); în suprafață ravenele cresc mai repede de aproximativ 1,5 ori decât în adâncime. Această observație este valabilă pentru cazurile studiate de noi, respectiv ravenele din bazinul hidrografic Bahlui.

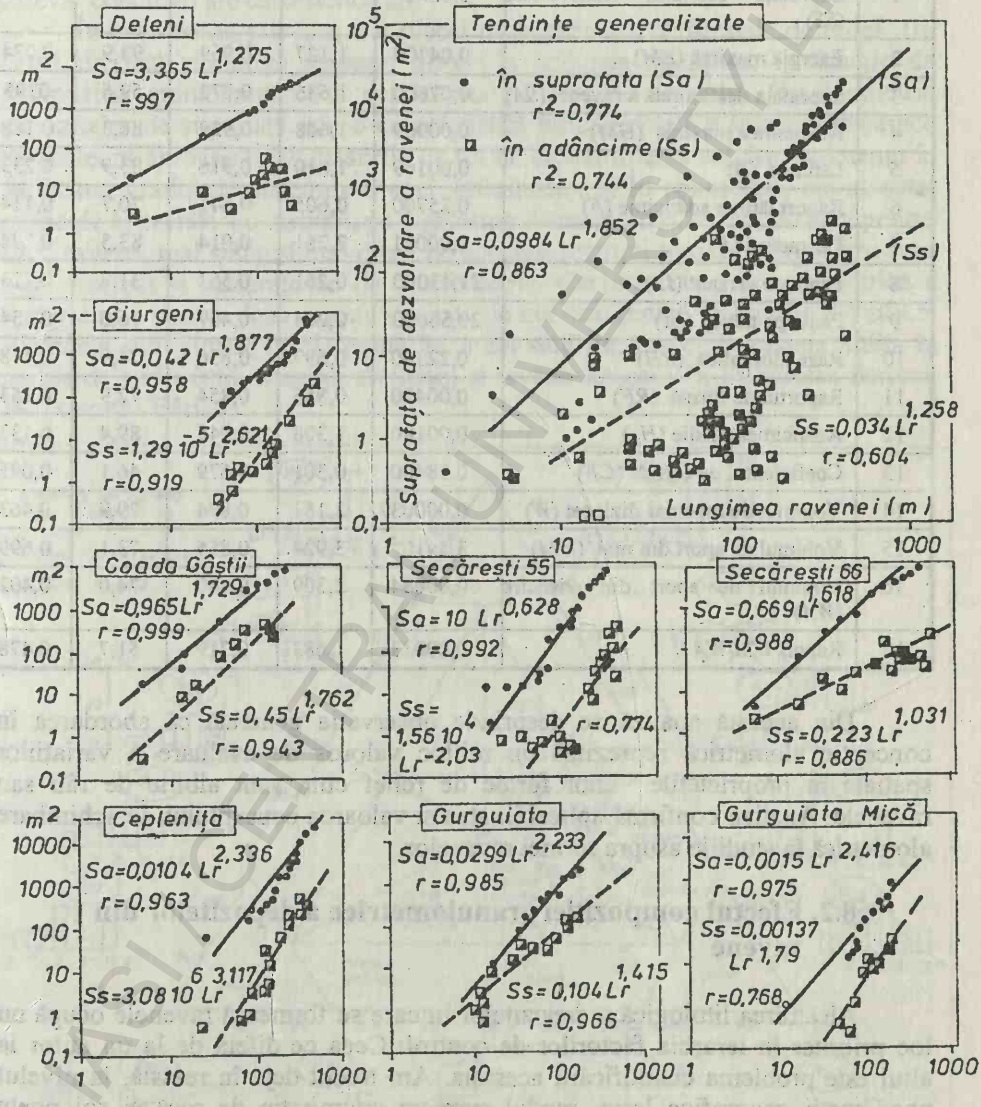


Fig. 8.3. Rata dezvoltării ravenelor în suprafață și în adâncime.

BCU IAȘI CENTRU UNIVERSITY LIBRARY

Tabelul 8.1. **Ecuații alometrice ale variabilelor morfometrice ale ravenei Cepleniţa în funcție de distanța de la vârful ravenei (*DFV*) (Rădoane et al., 1988).**

Nr. crt.	Variabila dependentă	*a*	*b*	*r*	r^2x100	*ESE*
1	Suprafaţa secţiunii transversale (*SS*)	$3{,}08\times0^{-6}$	3,116	0,947	89,7	0,309
2	Energia maximă (*EM*)	0,04300	1,127	0,969	93,9	0,084
3	Suprafaţa desfăşurată a ravenei (*SA*)	0,07600	1,636	0,772	59,6	0395
4	Adâncimea maximă (*HM*)	0,00069	1,608	0,929	86,3	0,188
5	Lăţimea (*B*)	0,00169	1,810	0,916	83,9	0,233
6	Raport lăţime adâncime (*F*)	0,25700	0,605	0,841	70,7	0,114
7	Perimetrul (*P*)	0,00021	2,251	0,914	83,5	0,294
8	Panta pe versant (*IV*)	21,43000	-0,261	0,563	31,7	0,113
9	Panta pe talveg (*IA*)	20,56000	-0,204	0,407	16,6	0,134
10	Raza hidraulică (*RH*)	0,22300	0,697	0,856	74,9	0,118
11	Raportul de formă (*RF*)	0,00420	0,856	0,854	72,9	0,153
12	Adâncimea medie (H_m)	0,00180	1,308	0,945	89,4	0,133
13	Coeficientul de formă (*CF*)	0,38400	0,301	0,679	46,1	0,095
14	Volumul de material dizlocat (*W*)	0,000037	3,151	0,894	79,9	0,463
15	Volumul de aport din mal (*WM*)	$3{,}5\text{x}10^{-7}$	3,924	0,855	73,1	0,699
16	Volumul de aport din adâncire (*WA*)	0,00084	2,309	0,860	74,0	0,402
17	Raport *WM/WA*	0,00033	1,683	0,719	51,7	0,478

Din această analiză se desprinde observaţia generală că abordarea în concepţie alometrică reprezintă un mijloc valoros de evaluare a variaţiilor spaţiale în proprietăţile unor forme de relief cum sunt albiile de râu sau ravenele. Analiza confirmă aplicabilitatea şi valoarea conceptului de schimbare alometrică în studiile asupra formei ravenelor.

8.2. Efectul compoziţiei granulometrice a depozitelor din ravene

Alcătuirea litologică a depozitelor în care se formează ravenele ocupă un loc prioritar în ierarhia factorilor de control. Ceea ce diferă de la un autor la altul este problema cuantificării acestuia. Am trecut deja în revistă, la nivelul unor spaţii geografice largi, modul cum un anumit tip de rocă şi sol poate influenţa răspândirea numărului şi densitatea ravenelor (cap. 7). De această dată fenomenul este abordat mult mai detaliat, la nivelul dimensiunii şi calităţii particulelor care alcătuiesc roca pe care se formează ravena. Unii autori s-au concentrat asupra caracteristicilor granulometrice, fizico - chimice, mineralogice şi de umiditate a depozitelor (a rocii în loc sau/şi a solului) în zona de obârşie, acolo unde are loc mecanismul principal de instabilitate şi evoluţie a

ravenelor. Este cazul echipei lui Piest de la Serviciul de Conservare a Solului din SUA, care a urmărit ani de zile câteva perimetre pentru a înțelege mecanismul de avansare a ravenelor. Alți autori au avut în vedere măsuri ale rezistenței la eroziune a solului și stabilirea condițiilor prag de inițiere mai întâi a ravenelor efemere și apoi a ravenelor perene (este recunoscut grupul condus de regretatul profesor De Ploey din Belgia) din care în capitolul 6 am reținut câteva concluzii ale cercetărilor lor.

În ceea ce ne privește, am plecat de la premiza că formele de relief (în cazul de față ravenele) răspund diferit la acțiunea agenților, în funcție de compoziția granulometrică a depozitelor pe care se dezvoltă. Granulometria depozitelor de suprafață este o caracteristică fundamentală a acestora deoarece controlează aproape toate măsurile ce țin de erodabilitatea solului: rezistența la forfecare, gradul de penetrare a apei, coeziunea ș.a. În consecință, am colectat probe de suprafață ale ravenei, pe o grosime de maximum 10 cm, distinct pentru fund ravenă, mal stâng și mal drept pe aceleași secțiuni transversale pentru care s-au efectuat și măsurătorile de morfometrie. Caracterizarea granulometrică a materialului pentru două ravene studiate de noi este redată în figurile 8.4 și 8.5. Ravenele sunt situate în extremitățile zonei studiate, respectiv ravena Sulița în partea de sud - est a orașului Botoșani și ravena Roșcani II, localitatea Perieni, lângă orașul Bârlad.

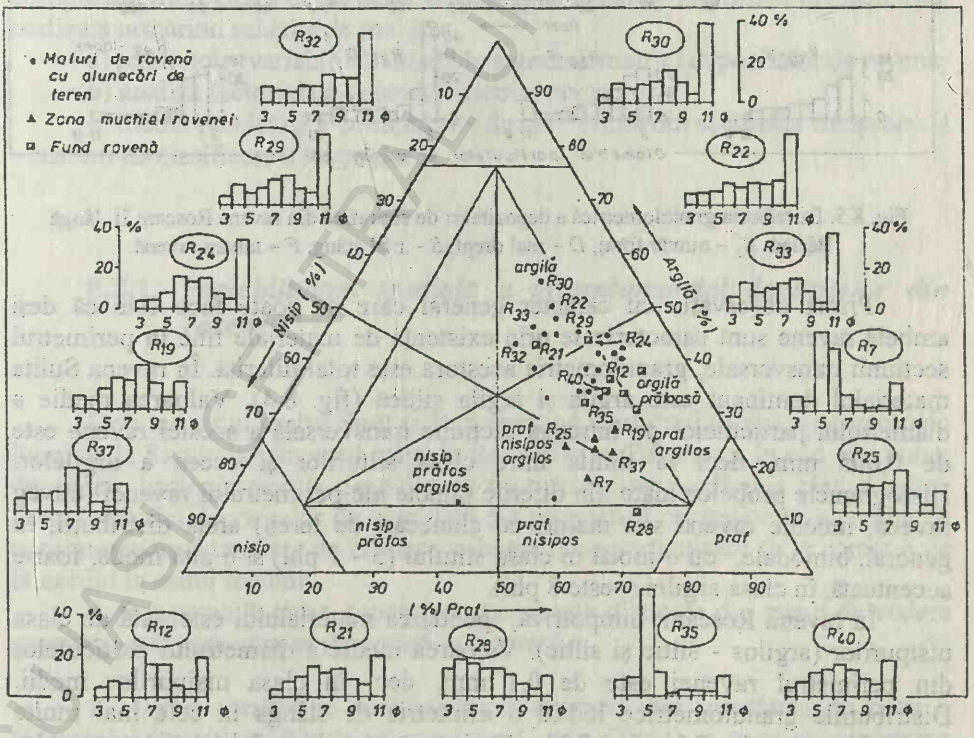


Fig. 8.4. Distribuția granulometrică a depozitelor din ravena Sulița, sud de Botoșani: R_3 – număr foraj, numărul 1 înseamnă că poziția lui este la vârful ravenei, iar un număr mai mare corespunde poziției spre gura ravenei.

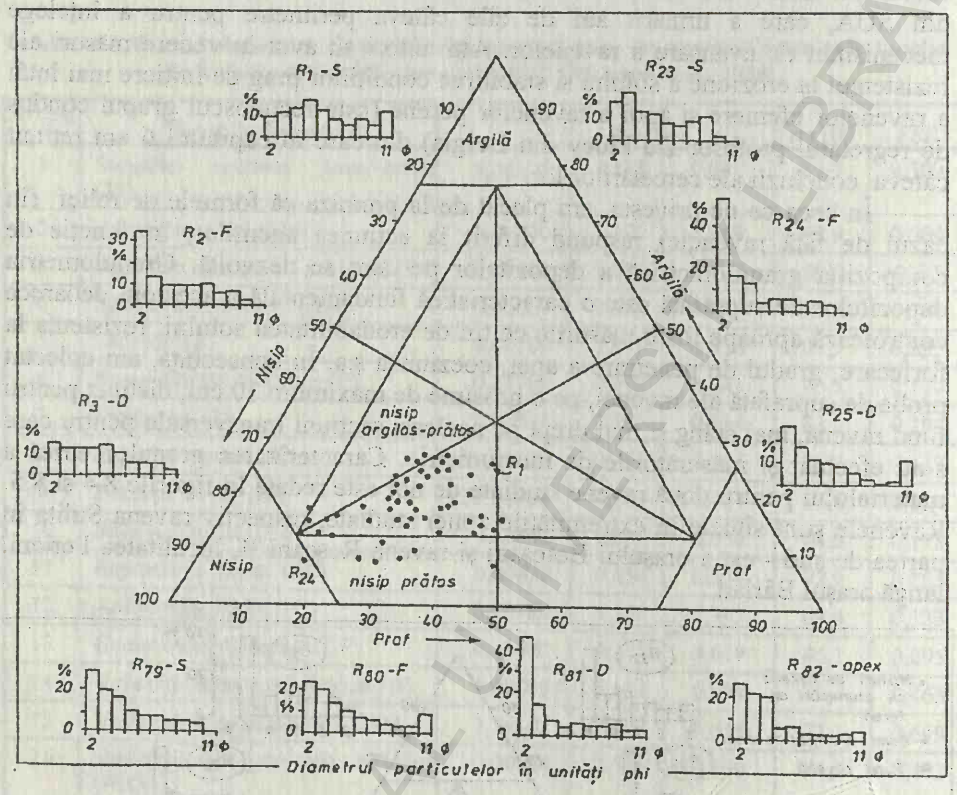


Fig. 8.5. Distribuția granulometrică a depozitelor de suprafață din ravena Roșcani II, lângă Bârlad: R_3 – număr foraj; D – mal drept; S – mal stâng; F – talveg ravenă.

Prima observație cu caracter general care se poate face este că deși ambele ravene sunt caracterizate prin existența de materiale fine în perimetrul secțiunii transversale, granulometria acestora este total diferită. În ravena Sulița materialul dominant este argila și argila siltică (fig. 8.4). Valoarea medie a diametrului particulelor pe întreaga secțiune transversală a acestei ravene este de 0,005 mm, deci la limita între clasa silturilor și aceea a argilelor. Histogramele probelor luate din diferite puncte ale perimetrului ravenei (talveg ravenă, muchie ravenă sau maluri cu alunecări de teren) arată distribuții, în general, bimodale, cu o modă în clasa siltului (5 - 7 phi) și o altă modă, foarte accentuată, în clasa argilei (peste 8 phi).

În ravena Roșcani, dimpotrivă, ponderea materialului este dată de clasa nisipurilor (argilos - siltic și siltic). Valoarea medie a diametrului particulelor din perimetrul ravenei este de 0,1 mm, deci în clasa nisipurilor medii. Distribuțiile granulometrice indică o asimetrie de stânga în cele mai multe cazuri (de exemplu, R2 - F și R24 - F) și, secundar, bimodalitate (de exemplu, R25 - D, R80 - F). Asimetria de stânga este dată de accentul pe moda de 2 phi (0,25 mm), iar bimodalitatea este caracterizată de o modă mai pronunțată pe clasa 2 phi și o alta mult mai puțin evidentă pe clasele 9 - 11phi; cu alte cuvinte,

depozitele din ravena Roșcani II se caracterizează prin dominanța nisipurilor medii și fine, în principal, apoi a argilelor, în secundar, și o pondere mai puțin însemnată a silturilor.

Cele două exemple discutate formează extremitățile marjei de variabilitate granulometrică a zonei studiate de noi, și anume, a teritoriului dintre râurile Siret și Prut.

În consecință, ne-am preocupat să evidențiem unele răspunsuri ale variabilității granulometrice la nivelul geometriei în plan și al secțiunilor transversale ale ravenelor astfel încât să fie posibilă separarea unor factori cu putere de prognoză în aprecierea dezvoltării ravenelor.

O altă premiză de la care s-a plecat a fost aceea de a găsi mijloacele cele mai puțin costisitoare și aparatura cea mai puțin sofisticată pentru obținerea cu maximă eficiență a datelor de teren și laborator, care să ne conducă la evaluarea corectă a dezvoltării ravenelor. Astfel de variabile sunt cele de geometrie în plan și în secțiune transversală și cele de granulometrie a depozitelor de ravenă, relativ ușor de cuantificat și care nu implică un cost exagerat.

În acest spirit au lucrat și alți autori cum sunt Heede (1974), Veness (1980), Blong (1985), East (1985), recunoscuți prin contribuțiile lor la cunoașterea geomorfologiei ravenelor.

Evidențierea posibilelor relații între geomorfometria ravenelor și compoziția litologică a depozitelor de suprafață în care s-au format ravenele este realizată urmărind schema de mai jos:

a) tendințele variabilității spațiale a granulometriei depozitelor de ravenă;

b) analiză factorială a geomorfometriei ravenelor;

c) media ponderată a conținutului de silt - argilă din secțiunea transversală - criteriu de clasificare a ravenelor.

8.2.1. *Variabilitatea spațială a granulometriei depozitelor din ravene*

Deși teritoriul dintre Siret și Prut aparține stratigrafic unui timp geologic lung, de la Sarmațian, în nord, până la Romanian și Cuaternar, în sud, din punct de vedere litologic, aceste depozite nu sunt delimitate totdeauna clar. Analiza granulometriei depozitelor de suprafață din perimetrul ravenelor ne-a condus la constatarea unei tendințe de creștere a diametrelor particulelor ce le compun de la nordul la sudul regiunii.

A fost posibilă chiar, separarea unor areale distincte din punct de vedere granulometric, așa cum se ilustrează în figura 8.6:

1. *Argilo - siltic* ce caracterizează ravenele din jumătatea de nord a teritoriului investigat (Sulița, Gurguiata, Coada Gâștii) și care se suprapune lutitelor de vârstă Sarmațian inferior și mijlociu. Repartițiile granulometrice tipice pentru aceste depozite se caracterizează prin asimetrie de dreapta (fig. 8.6.) dată de dominanța fracțiunilor fine (>10%);

2. *Siltic* pentru ravenele din partea mijlocie a zonei studiate care face trecerea de la lutitele sarmaţiene la nisipurile cu intercalaţii de gresii şi argile ale Meoţianului (ravenele Roşcani şi Poiana). În acest caz, repartiţiile granulometrice sunt fie unimodale, simetrice (în jurul a 4 - 8 phi), fie bimodale, cu reprezentare bună la extremităţile histogramelor, adică >10 phi şi < 4 phi ;

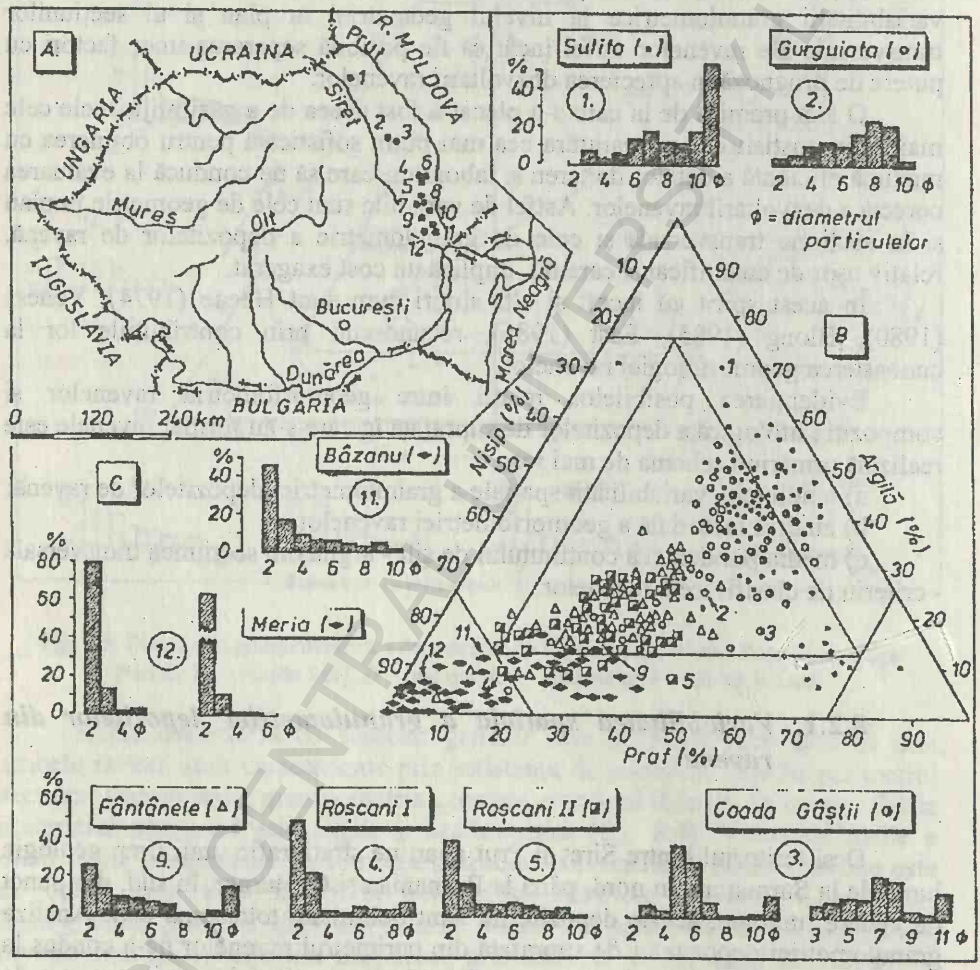


Fig. 8.6. Compoziţia granulometrică a depozitelor de suprafaţă din ravenele studiate: *A* – Localizarea ravenelor în teritoriul dintre râurile Siret şi Prut; *B* – Diagrama ternară a compoziţiei granulometrice a depozitelor de suprafaţă din ravenele studiate; *C* – Histograme ale repartiţiilor granulometrice (Rădoane et al., 1995).

3. *Nisipos* pentru ravenele din partea sudică a zonei (Fântânele, Bâzanu, Meria) unde roca este dominant nisipoasă (nisipuri şi argile cu intercalaţii de cinerite şi gresii) de vârstă Meoţian, Ponţian, Dacian şi Romanian. Histogramele indică procente ridicate ale diametrelor sub 2 phi.

Așa cum este ilustrat în fig 8.6 complexitatea introdusă de compoziția granulometrică a substratului, reprezintă o motivație în plus pentru abordarea studiului ravenelor în concepția analizei multivariate.

8.2.2. *Analiza factorială a geomorfometriei ravenelor*

Analiza factorială cuprinde un număr de procedee matematice ce descriu relațiile simplificate dintre un număr mare și complex de date. Aceasta se realizează prin crearea unui număr minim de noi variabile, numite *factori*, care sunt combinații liniare ale celor originale astfel încât variabilele noi conțin, de fapt, aceeași cantitate de informație ca și setul inițial.

Ideal, factorii ar trebui să aibă o serie de însușiri ipotetice și teoretice care să ajute la explicarea variabilității datelor (Johnston, 1986). Acumularea unui fond important de date privind geomorfometria și granulometria ravenelor a impus folosirea unei metodologii care să ne ajute să simplificăm complexitatea.

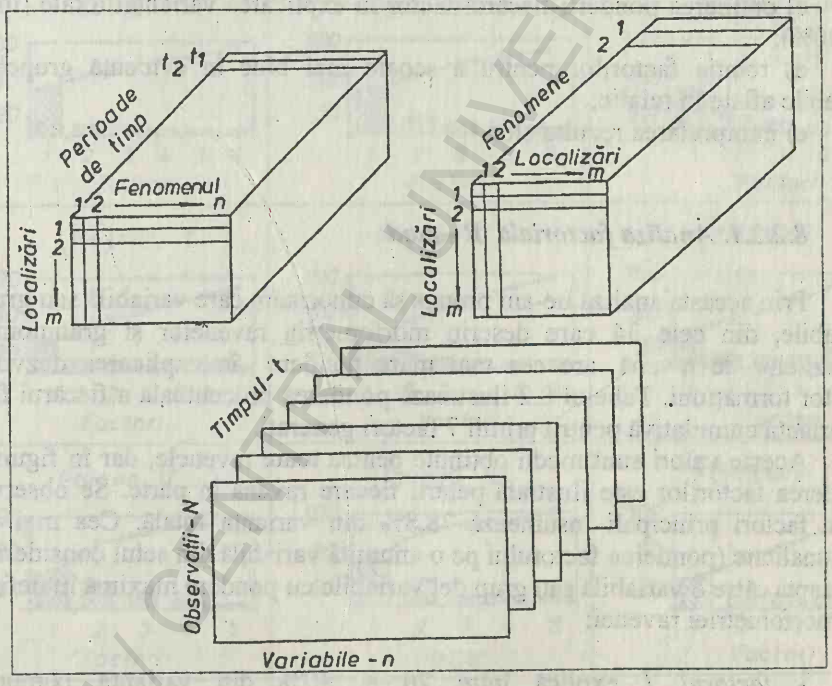


Fig. 8.7. Structura cubului de date pentru analiza multivariată a datelor geografice (Johnston, 1986).

Aplicarea procedurilor este posibilă dacă natura datelor obținute printr-un anumit experiment poate fi generalizată într-o matrice bi- sau tridimensională. Ilustrarea acestei generalizări se face printr-un cub (fig. 8.7.) în care pe o latură sunt localizările observațiilor (*N*, de exemplu mai multe puncte de-a lungul unui râu, versant sau o rețea de puncte pe o suprafață); pe o altă latură sunt variabilele (*n*) ce descriu fenomenul studiat (de exemplu, panta, grosimea depozitelor de versant, compoziția granulometrică etc. într-un punct anume). Felii din acest cub pot reprezenta timpul (*t*) sau fenomenul studiat în

diferite poziții în timp. O matrice de date poate fi extrasă din acest cub în 6 moduri diferite din care descriem două pe care le-am utilizat în aplicație:

- modul *R* în care *n* variabile formează coloane și *N* observații formează rânduri;

- modul *Q* în care *N* observații formează coloanele și *n* variabile constituie rândurile.

Ambele moduri consideră timpul ca variabilă constantă. Matricea datelor pentru fiecare ravenă conține un număr de $n = 34$ variabile (enumerate în tabelul 5.2) și un număr de observații *N* care a variat între 13 (Ravena Meria) și 46 (Ravena Sulița). Indiferent care mod se utilizează, extragerea factorilor presupune parcurgerea următorilor pași:

a) obținerea matricei de corelație (în cazul *R - mod*, coeficienții de corelație ai lui Pearson iar în cazul *Q - mod* coeficienții de similaritate);

b) extragerea factorilor;

c) obținerea ponderii fiecărui factor în explicarea variantei totale (între 0 și 100%);

d) rotația factorilor pentru a scoate mai bine în evidență grupele de variabile aflate în relație;

e) interpretarea rezultatelor.

8.2.2.1. Analiza factorială R - mod

Prin această analiză ne-am propus să cunoaștem care variabilă sau grup de variabile, din cele 34 care descriu morfometria ravenelor și granulometria depozitelor de ravenă, are cea mai mare pondere în explicarea dezvoltării acestor formațiuni. Tabelul 8.2 ilustrează ponderea procentuală a fiecărui factor și varianța cumulativă pentru primii 7 factori generați.

Aceste valori sunt medii obținute pentru toate ravenele, dar în figura 8.8 ponderea factorilor este ilustrată pentru fiecare ravenă în parte. Se observă că patru factori principali însumează 78,8% din varianța totală. Cea mai mare comunalitate (ponderea factorului pe o anumită variabilă din setul considerat) se îndreaptă către o variabilă sau grup de variabile cu pondere maximă în definirea geomorfometriei ravenei:

- *factorul I* explică între 20 și 40% din varianța comună a geomorfometriei ravenei și el înglobează toate acele variabile ce descriu secțiunea transversală (lățimea, adâncime, perimetrul, suprafața secțiunii transversale);

- *factorul II* arată că cea mai mare comunalitate este îndreptată către variabile ce descriu variația în profil longitudinal a ravenelor (lungimea, energia de relief, suprafața desfășurată). De asemenea, el include aproape toată variabilitatea granulometrică a secțiunii transversale a ravenelor (diametrul median al materialului din perimetrul ravenei, procentul de silt - argilă și parametrul *M*);

- *factorul III* include câteva variabile ce măsoară, adimensional, forma secțiunii transversale (coeficientul de formă, raportul lățime/adâncime, raza hidraulică). Aceste variabile au format un grup din cauză că ele includ deja mai multe variabile din factorul I, care au determinat o creștere a caracterului lor independent;

- *factorul IV* se focalizează în special pe raportul dintre volumul de material îndepărtat prin procese de mal și acela îndepărtat prin procese de adâncire.

Ultimii doi factori (*III* și *IV*), deși au un procent redus de reprezentare în explicarea variabilității ravenelor, sunt prezenți de fiecare dată în analiza factorială.

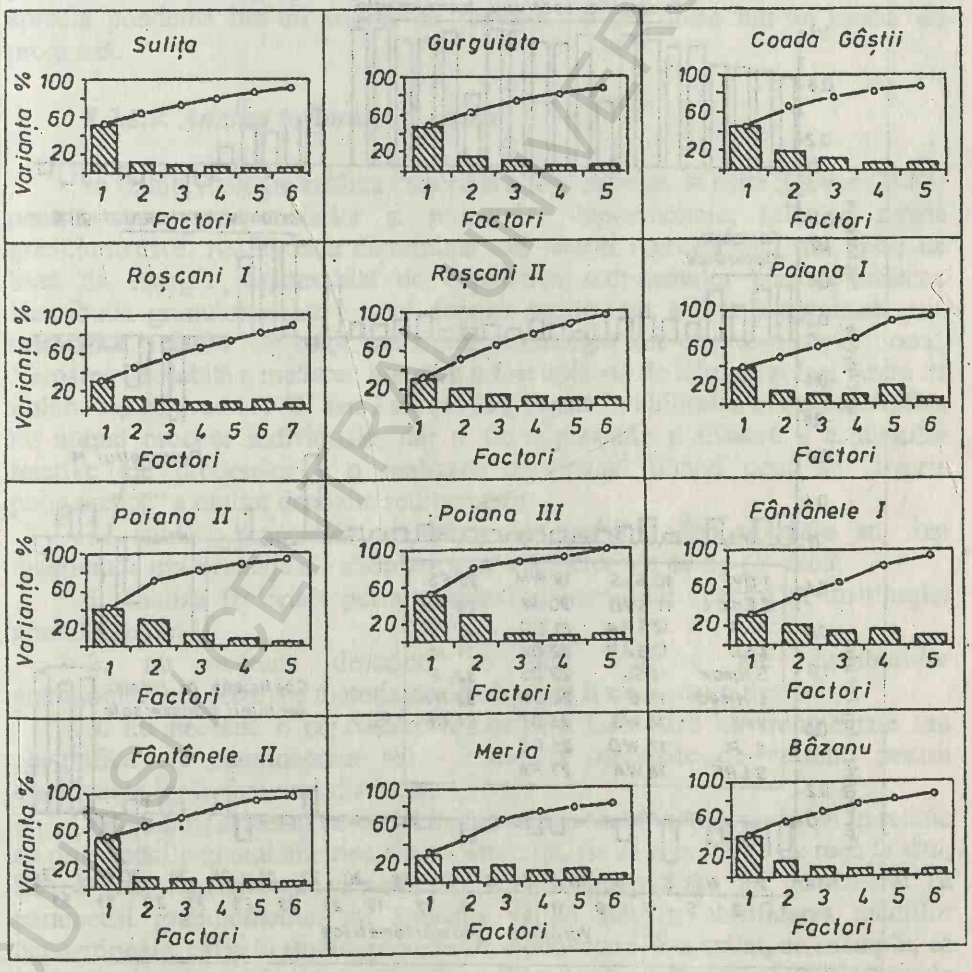


Fig. 8.8. Ponderea factorilor pentru 34 de variabile ale ravenelor studiate din Moldova (Rădoane et al., 1995).

BCU Iași CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

Tabelul 8.2. **Valorile ponderii factorilor (*eigenvalues*), variantele și variantele cumulative pentru soluția cu 7 factori (Rădoane et al., 1995).**

Factorul	Ponderea factorului	Varianța (%)	Varianța cumulativă (%)
1	13,52	39,77	39,77
2	6,14	18,06	57,83
3	3,96	11,66	69,49
4	3,16	9,30	78,79
5	2,95	8,68	87,47
6	2,21	6,51	93,98
7	1,62	4,76	98,74

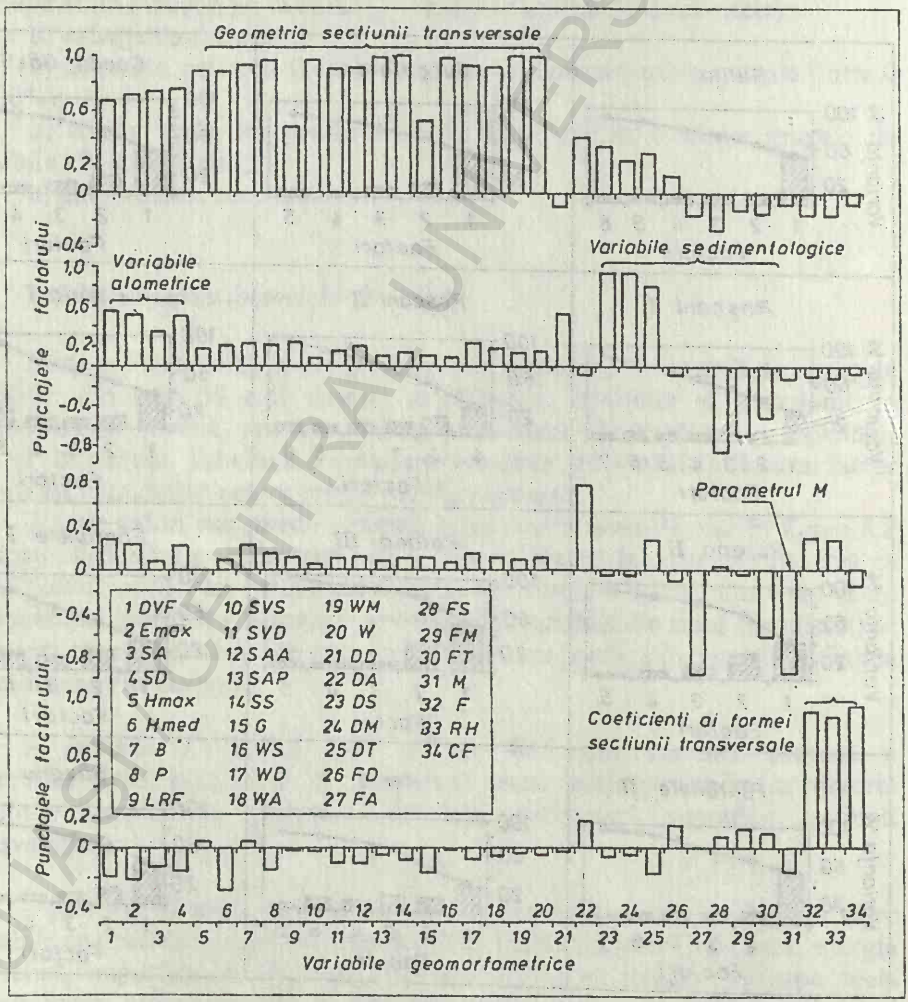


Fig. 8.9. Exemplu de grupare a variabilelor în cadrul a patru factori pentru Ravena Bâzanu.

BCU IAȘI CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

În figura 8.9. este ilustrată maniera de grupare a variabilelor în cadrul a patru factori pentru ravena Bâzanu. Pe axa orizontală sunt reprezentate cele 34 variabile geomorfometrice și granulometrice, iar pe axa verticală punctajele pentru fiecare variabilă. Este evident că *factorul I* înglobează cele mai multe variabile și că toate aparțin geometriei secțiunii transversale. *Factorul II* se sprijină pe variabile alometrice și granulometrice, ponderea acestuia fiind subordonată primului factor. Ceilalți factori s-au axat pe un grup și mai restrâns de variabile, cum ar fi parametrul *M* sau coeficienți ai formei secțiunii transversale.

În concluzie, folosind analiza factorilă *R - mod* se reduce numărul de variabile (de la 34 la 4), care conțin, în mod esențial, aceeași cantitate de informații ca și setul original, dar au avantajul că sunt mai puține la număr și permit identificarea grupelor de variabile aflate în relație. În plus, li se poate aprecia ponderea într-un sistem de corelații și pot intra într-un model de prognoză.

8.2.2.2. Analiza factorială Q - mod

În sedimentologie analiza factorială a fost utilizată de către Klovan (1966) pentru cunoașterea mediilor și proceselor depoziționale, folosind datele granulometrice. Astfel, el a determinat trei factori reprezentând trei tipuri de bază de energie responsabilă de depunerea sedimentelor clastice marine. Distribuția granulometrică a unui depozit sedimentar a fost determinată prin cantitățile relative ale celor trei tipuri de energie într-un punct depozițional. Valoarea deosebită a metodei, așa cum a fost aplicată de Klovan și mai târziu de Solohub și Klovan (1970) sau East (1985), constă în abilitatea ei de a identifica nu numai procese individuale, dar și de a prezenta o măsură a cantităților relative ale proceselor - o realizare importantă ținând cont de „istoria poligenetică" a multor depozite sedimentare.

În studiul proceselor genetice ale mediilor depoziționale au fost menționate trei avantaje ale abordării analizei factoriale de tip *Q - mod*:

1. analiza factorială permite folosirea întregului spectru al distribuției granulometrice;

2. nu necesită descrieri statistice arbitrare ale distribuțiilor granulometrice, deoarece metoda analitică poate fi mult mai obiectivă;

3. nu necesită o cunoaștere apriorică a localizării environmentale sau geografice ale eșantioanelor sol - sediment (depozite de versant) pentru clasificarea lor în faciesuri distincte.

Parametrii selectați ca variabile în analiza factorială *Q-mod* sunt în relație cu proprietățile granulometrice ale substratului, fie că este vorba de roca *in situ*, fie că sunt depozite de versant sau sol. Sedimentologii au demonstrat că parametrii granulometrici au aplicații valide atât în clasificarea mediilor depoziționale, cât și în studiul proceselor sedimentare. S-a arătat, de exemplu, că sedimentele din diferite medii depoziționale posedă proprietăți texturale distinctive, cum ar fi sedimentele de origine fluvială sau cele de origine lacustră. Tot la fel, și în domeniul versanților, realizând o analiză texturală a depozitelor, pot fi elucidate procesele de eroziune, transport și acumulare asociate cu tipurile

de scurgere laminară sau concentrată.

Scopul pentru care a fost aplicată analiza *Q - mod* în domeniul texturii depozitelor de ravenă rezidă în următoarele argumente:

a) determinarea unui număr minim de factori care va explica variabilitatea granulometrică afișată de depozitele de suprafață (sol + roca *in situ*) colectate din perimetrul ravenelor;

b) identificarea proceselor geomorfologice reprezentate de factori;

c) stabilirea distribuției spațiale a factorilor și proceselor asociate în perimetrul ravenelor.

Matematic, rezolvarea acestor scopuri implică, inițial, reducerea matricei granulometrice mari la un număr mai mic de variabile teoretice (factorii). Factorii pot fi priviți astfel ca reprezentând membri idealizați ai suitei de probe, iar distribuțiile lor granulometrice ca răspunsuri la procese distincte.

Pentru acest tip de analiză s-a luat în considerație numai compoziția granulometrică a depozitelor de suprafață din perimetrul ravenei, evaluată pe baza a zece clase granulometrice între 2 phi și 10 phi. Metoda folosește un indice de similaritate proporțională denumit "cosinus theta" care evaluează gradul de similaritate între probe pe baza proporțiilor constituienților lor. Cosinusul unghiului θ_{nm} între oricare doi vectori X_n și X_m este determinat din :

$$\cos\theta_{nm} = \frac{\sum_{j=1}^{p} X_{nj} X_{mj}}{\sqrt{\left(\sum_{j=1}^{p} X_{nj}^2 \sum_{j=1}^{p} X_{mj}^2\right)}}$$

Pașii principali de urmat sunt:

1) Găsirea unui număr minim de factori prin care „obiectele" observate pot fi considerate combinații;

2) Specificarea compozițiilor factorilor în relație cu constituienții phi (respectiv, cele 10 clase de diametre citite pe curba granulometrică);

3) Descrierea fiecărui „obiect" în termenii factorilor.

Factorii au fost rotați prin *metoda varimax* pentru a îndeplini cea mai simplă soluție posibilă în termenii numărului ales de factori. Metoda varimax rotește axa factorilor până ce ei coincid cu vectorii cei mai divergenți în spațiul multidimensional. Aceasta se realizează prin maximizarea varianței ponderilor factorilor pe fiecare factor, supus la constrângerea că aceștia rețin ortogonalitatea lor (Johnston, 1986).

Analiza factorială *Q - mod* a fost aplicată la matricea datelor granulometrice, așa cum este prezentată în tabelul 8.3; în prima coloană sunt reprezentate probele de depozite de ravenă dispuse de la vârful ravenei spre gura ei, iar pe orizontală clasele granulometrice în unități phi.

Tabelul 8.3. **Variabilele granulometrice (sub forma ponderilor procentuale ale claselor granulometrice) folosite pentru analiza *Q - mod* în cazul ravenei Bâzanu**

D (phi)→ Nr.pb.↓	>2	3	4	5	6	7	8	9	10	<11	Poziția în ravenă
R_1	17	12	14	11	12	8	9	8	9	0	Prag obârșie
R_2	30	14	10	12	12	10	4	6	2	0	Fund ravenă (F)
R_3	30	12	13	14	7	11	0	3	3	7	Mal stâng (S)
R_4	34	23	10	8	7	5	2	2	2	7	F
R_5	17	15	18	18	12	9	6	5	0	0	Mal drept (D)
R_6	20	15	11	14	12	8	8	12	0	0	S
R_7	67	12	2	5	5	3	1	2	3	0	F
R_8	16	16	14	17	15	7	7	6	2	0	D
R_9	22	21	16	9	8	8	5	5	6	0	S
R_{10}	37	15	10	10	11	6	5	6	0	0	F
R_{11}	16	13	10	16	14	8	8	7	8	0	D
R_{12}	22	20	15	13	8	6	8	8	0	0	S
R_{13}	30	12	12	13	7	6	8	8	4	0	F
R_{14}	19	13	11	16	15	13	1	1	2	9	D
R_{15}	33	16	10	11	8	9	3	3	4	3	S
R_{16}	50	21	8	5	3	3	3	2	3	2	F
R_{17}	21	13	12	16	11	10	5	2	1	9	D
R_{18}	9	12	19	20	19	8	6	7	0	0	S
R_{19}	8	13	21	11	17	13	7	5	5	0	D
R_{20}	23	15	13	17	9	5	6	5	5	1	S
R_{21}	84	7	2	4	3	0	0	0	0	0	F
R_{22}	24	11	15	15	12	10	2	3	3	5	D
R_{23}	27	15	16	13	7	8	5	7	1	0	S
R_{24}	90	3	1	3	2	1	0	0	0	0	F
R_{25}	30	15	10	14	8	6	7	7	3	0	D
R_{26}	29	17	10	12	13	6	4	3	2	4	S
R_{27}	41	18	7	7	8	4	2	4	3	6	F
R_{28}	6	19	22	15	8	8	8	7	6	1	D
R_{29}	20	18	11	16	12	10	4	3	3	3	S
R_{30}	19	11	6	8	7	2	2	2	2	5	F
R_{31}	15	14	13	18	13	8	8	7	4	0	D
R_{32}	14	12	14	20	19	8	4	6	3	0	S
R_{33}	67	15	7	3	4	2	0	1	0	0	F
R_{34}	27	11	15	17	7	10	1	2	3	7	D
R_{35}	81	11	4	1	2	1	0	0	0	0	F
R_{36}	17	12	19	12	12	7	5	7	9	0	D
R_{37}	89	6	2	2	0	0	0	1	0	0	F
R_{38}	12	10	11	11	10	9	10	8	6	13	S
R_{39}	24	56	12	3	4	0	0	1	0	0	F
R_{40}	31	15	12	12	10	7	1	1	2	9	S
R_{41}	66	12	7	7	5	1	0	1	0	0	F
R_{42}	18	15	22	12	16	5	3	3	3	3	D
R_{43}	57	13	3	2	2	1	1	1	1	19	S
R_{44}	37	14	9	12	9	7	6	6	0	0	F
R_{45}	13	16	20	15	12	8	7	7	2	0	D
R_{46}	50	19	7	5	5	4	4	6	0	0	S
R_{47}	22	52	11	6	6	1	0	2	0	0	F
R_{48}	10	6	13	25	13	9	8	7	7	2	D
R_{49}	30	17	14	9	7	6	4	3	3	7	S
R_{50}	62	18	6	7	2	2	1	2	0	0	F
R_{51}	13	10	16	19	11	9	7	5	5	5	D
R_{52}	75	14	3	2	3	3	0	0	0	0	S
R_{53}	80	15	2	3	0	0	0	0	0	0	F
R_{54}	30	8	13	14	10	6	6	7	5	0	D
R_{55}	72	12	4	2	1	2	2	1	3	1	S
R_{56}	24	16	10	13	11	7	5	5	5	4	F
R_{57}	45	18	8	6	6	5	4	3	5	0	D
R_{58}	60	26	5	3	4	2	0	0	0	0	S

BCU IAȘI CENTRALA UNIVERSITARĂ

Tabelul 8.3. (continuare)

R_{59}	70	15	5	1	2	1	1	2	3	0	F
R_{60}	56	17	4	4	5	3	4	4	3	0	D
R_{61}	45	20	10	9	6	4	3	3	0	0	S
R_{62}	56	17	9	5	4	3	4	2	0	0	F
R_{63}	15	11	12	13	6	4	7	6	6	20	D
R_{64}	60	11	10	4	5	4	3	3	0	0	S
R_{65}	70	21	4	3	2	0	0	0	0	0	F
R_{66}	47	19	8	6	6	4	4	6	0	0	S
R_{67}	28	12	20	10	8	4	3	4	3	8	F
R_{68}	34	20	14	7	5	3	4	3	4	6	D
R_{69}	56	14	6	5	6	5	5	3	0	0	S
R_{70}	80	9	4	1	1	2	0	0	2	1	F
R_{71}	22	13	15	13	11	7	9	6	4	0	D
R_{72}	46	18	9	7	7	5	3	4	1	0	S
R_{73}	70	10	8	1	2	2	2	4	1	0	F
R_{74}	25	14	11	7	14	5	5	4	5	10	D

Transformarea phi → mm se face după formula:

$$\text{phi} = -\log_2 D\ (\text{mm}) = -3{,}3219 \log_{10} D\ (\text{mm})$$

unde D este diametrul particulei în milimetri.

În tabelul 8.4 sunt prezentate valorile proprii, explicația procentuală a variației totale și varianța cumulată pentru primii 3 factori generați în cazul ravenei Bâzanu, iar în figura 8.10 este reprezentat grafic modul în care cei trei factori își distribuie ponderile pe cele zece clase granulometrice.

Urmând procedura decrisă am obținut pentru fiecare ravenă un număr de trei factori cu relevanță maximă în gruparea granulometrică. Exemplificăm ponderile factorilor pentru ravenele Sulița și Roșcani II (fig. 8.10). Comunalitățile indică faptul că maximum de explicare a variabilității granulometrice are loc pe primii trei factori pentru toate ravenele studiate. Cei trei factori sunt, în general, asociați cu următoarea structură texturală:

- *factorul I* se caracterizează printr-un conținut maxim de argilă;
- *factorul II*, printr-un conținut mare de silt și mic în argilă;
- *factorul III*, printr-un conținut mai mare de nisip fin și silt.

Această asociere nu este valabilă pentru toate ravenele. Ea este caracteristică, de exemplu, pentru ravena Sulița, unde, după cum am văzut anterior, spectrul granulometric al depozitelor din această ravenă este dominat de clasele silturilor și argilelor (fig. 8.10).

În cazul ravenei Roșcani II, asociarea factorilor este următoarea:
- *factorul I* se caracterizează printr-un conținut maxim de nisip și silt;
- *factorul II*, printr-un conținut de silt și argilă;
- *factorul III*, printr-un conținut de argilă.

Cu ajutorul celor trei factori au fost construite diagrame ternare (fig. 8.11 și 8.12). Colțurile diagramei corespund unuia din cei trei factori, presupunând că în acel punct există o explicare de 100% pe factorul respectiv. Fiecare latură a fost gradată de la 0 la 100, semnificând creșterea procentuală a ponderii unuia dintre cei trei factori în explicarea variabilității texturale a depozitelor de ravenă.

Tabel 8.4. **Ponderea factorilor pentru datele granulometrice ale ravenei Bâzanu**

Numărul probei	Poziția probei în ravenă	Ponderea factorilor			Comunalitatea
		Factorul I	*Factorul II*	*Factorul III*	
1*R*	Prag obârșie	0,37193	- 0,89168	0,10104	0,94364
2*R*	Fund ravenă (F)	0,64959	- 0,73788	0,11716	0,98017
3*R*	Mal stâng (S)	0,65088	- 0,72665	0,07015	0,95659
4*R*	F	0,71334	- 0,60242	0,33559	0,98438
5*R*	Mal drept (D)	0,32350	- 0,91924	0,15056	0,97233
6*R*	S	0,43396	- 0,85242	0,15623	0,93936
7*R*	F	0,94883	- 0,30460	0,05334	0,99591
8*R*	D	0,31269	- 0,92302	0,17327	0,97975
9*R*	S	0,48665	- 0,78726	0,34717	0,97713
10*R*	F	0,75081	- 0,63497	0,14229	0,98714
11*R*	D	0,33480	- 0,91275	0,08697	0,95277
12*R*	S	0,47406	- 0,80992	0,30182	0,97179
13*R*	F	0,65901	- 0,73020	0,08294	0,97436
14*R*	D	0,40105	- 0,86212	0,07195	0,90926
15*R*	S	0,71344	- 0,67254	0,17002	0,99021
16*R*	F	0,86988	- 0,42546	0,24458	0,99753
17*R*	D	0,46644	- 0,85275	0,08726	0,95236
18*R*	S	0,09002	- 0,97244	0,05669	0,95696
19*R*	D	0,08220	- 0,95178	0,12899	0,92929
20*R*	S	0,44480	- 0,86661	0,10840	0,96060
21*R*	F	0,97381	- 0,22199	- 0,01144	0,99771
22*R*	D	0,52076	- 0,84040	0,04489	0,97948
23*R*	S	0,58577	-0,77599	0,17126	0,97462
24*R*	F	0,97900	- 0,19267	- 0,05504	0,99860
25*R*	D	0,65566	- 0,72756	0,14523	0,98033
26*R*	S	0,63597	- 0,73706	0,19502	0,98575
27*R*	F	0,81679	- 0,52849	0,20564	0,98872
28*R*	D	0,04280	- 0,92960	0,29651	0,95390
29*R*	S	0,43533	- 0,85957	0,21843	0,97609
30*R*	F	0,65738	- 0,70464	0,20071	0,96896
31*R*	D	0,29291	- 0,93820	0,11578	0,97942
32*R*	S	0,23581	- 0,94765	0,04155	0,95537
33*R*	F	0,94224	- 0,31111	0,11289	0,99736
34*R*	D	0,57921	- 0,78246	0,04023	0,4935
35*R*	F	0,97180	- 0,22764	0,04672	0,99839
36*R*	D	0,34872	- 0,90081	0,11024	0,94523
37*R*	F	0,98070	- 0,19112	- 0,01631	0,99857
38*R*	S	0,25712	- 0,88857	0,03270	0,85673
39*R*	F	0,38407	- 0,45611	0,80073	0,99672
40*R*	S	0,67127	- 0,69987	0,14780	0,96227
41*R*	F	0,93724	- 0,33584	0,06032	0,99484
42*R*	D	0,34866	- 0,88325	0,18565	0,93617
43*R*	S	0,90805	- 0,29785	0,08781	0,92099
44*R*	F	0,75326	- 0,63713	0,11110	0,98568
45*R*	D	0,22747	- 0,93909	0,20537	0,97581
46*R*	S	0,87135	- 0,43691	0,20642	0,99275
47*R*	F	0,36781	- 0,50645	0,77454	0,99169
48*R*	D	0,12281	- 0,96036	- 0,14262	0,95771
49*R*	S	0,66778	- 0,69505	0,22621	0,98020
50*R*	F	0,92190	- 0,34980	0,15453	0,99615
51*R*	D	0,23591	- 0,96564	0,00725	0,98817
52*R*	S	0,96205	- 0,25668	0,08367	0,98842
53*R*	F	0,96858	- 0,22787	0,09145	0,99844
54*R*	D	0,64962	- 0,75058	- 0,02257	0,98588
55*R*	S	0,96213	- 0,26123	0,06352	0,99798
56*R*	F	0,55571	- 0,80439	0,18289	0,98931
57*R*	D	0,84302	- 0,49163	0,19975	0,99228
58*R*	S	0,89551	- 0,34033	0,28266	0,99766
59*R*	F	0,95406	- 0,27314	0,11139	0,99724
60*R*	D	0,91162	- 0,37239	0,15402	0,99344

Tabelul 8.4. (continuare)

61*R*	S	0,82120	- 0,51800	0,23076	0,99595
62*R*	F	0,90067	-0,39866	0,16072	0,99597
63*R*	D	0,33448	- 0,78307	0,06415	0,72919
64*R*	S	0,92099	- 0,37506	0,06007	0,99250
65*R*	F	0,94071	- 0,28077	0,18623	0,99845
66*R*	S	0,84933	- 0,47550	0,21367	0,99312
67*R*	F	0,60504	- 0,74362	0,11755	0,93285
68*R*	D	0,71985	- 0,61219	0,29268	0,97862
69*R*	S	0,90937	- 0,39604	0,10186	0,99418
70*R*	F	0,97312	- 0,22548	0,02212	0,99830
71*R*	D	0,48435	- 0,85562	0,11869	0,98078
72*R*	S	0,84170	- 0,50096	0,19434	0,99718
73*R*	F	0,95363	- 0,28459	0,04628	0,99254
74*R*	D	0,58718	- 0,74694	0,15508	0,92675

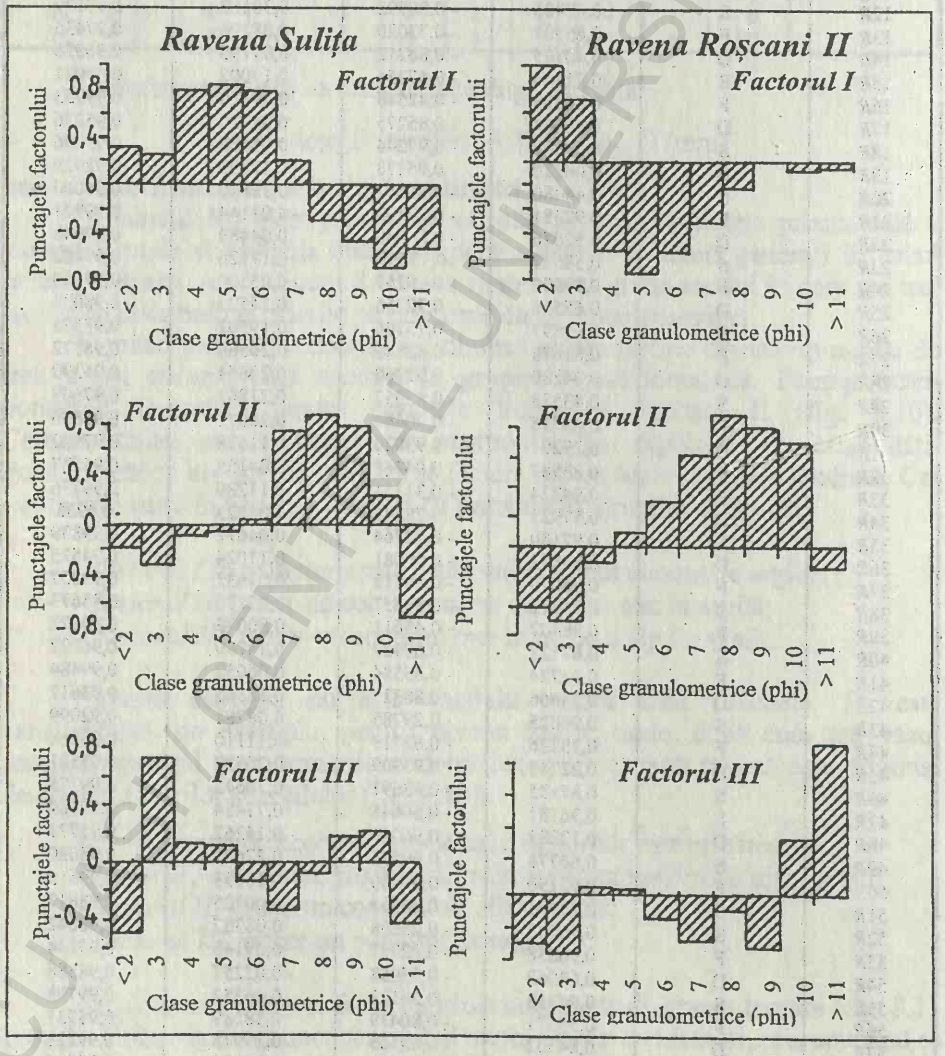


Fig. 8.10. Ponderea factorilor pentru 10 clase granulometrice ale depozitelor de ravenă.

BCU CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

Diagramele ternare permit observarea tendințelor de grupare a factorilor în relație cu desfășurarea în plan a ravenelor. Pe baza acestora conchidem că *există o tendință de selectare a anumitor clase granulometrice în depozitele de suprafață ale ravenelor.*

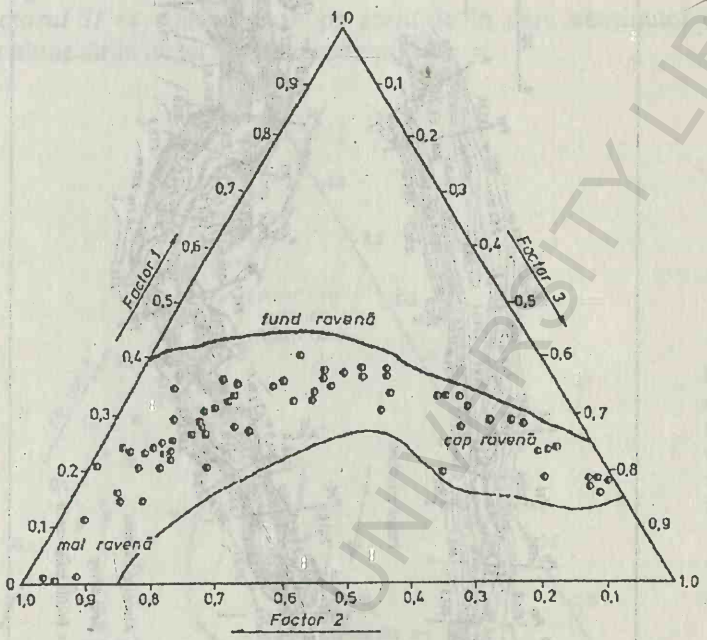


Fig. 8.11. Distribuția ponderii factorilor în relație cu procesele geomorfologice din Ravena Bâzanu.

Pentru ravena Bâzanu (fig. 8.11) situația se prezintă astfel:

- pe fundul ravenei se localizează clasele granulometrice în *factorul I*, respectiv în jurul diametrelor de 2 phi. Este un indice al transportului longitudinal episodic în cadrul ravenei capabil de a sorta oarecum materialul rezultat din prăbușirea malurilor.

- *factorul II* se localizează în malurile ravenei unde există o „cvasidezordine" granulometrică datorată prăbușirii și alunecării materialelor. Factorul înglobează clasele granulometrice de la 4 phi la 9 phi;

- *factorul III* se localizează în partea superioară a abrupturilor și, în special, la vârful ravenei, acolo unde conținutul de argilă este ridicat. Dealtfel, factorul grupează diametrele în jur de 11phi.

Harta din figura 8.12 prezintă ravena Bâzanu prin curbe de nivel, o ravenă discontinuă, cu un prag de obârșie de – 2,9 m și altul, imediat în amonte, de – 2,6 m, cu maluri abrupte de 6 – 11 m înălțime, cu un talveg relativ îngust și sinuos. Regresarea acestei ravene are loc prin formarea unor praguri cu înălțime de 0,4 - 0,5 m, plasate la distanțe diferite amonte de vârful ravenei, în lungul unei linii de drenaj.

BCU „LUCIAN BLAGA" UNIVERSITY LIBRARY

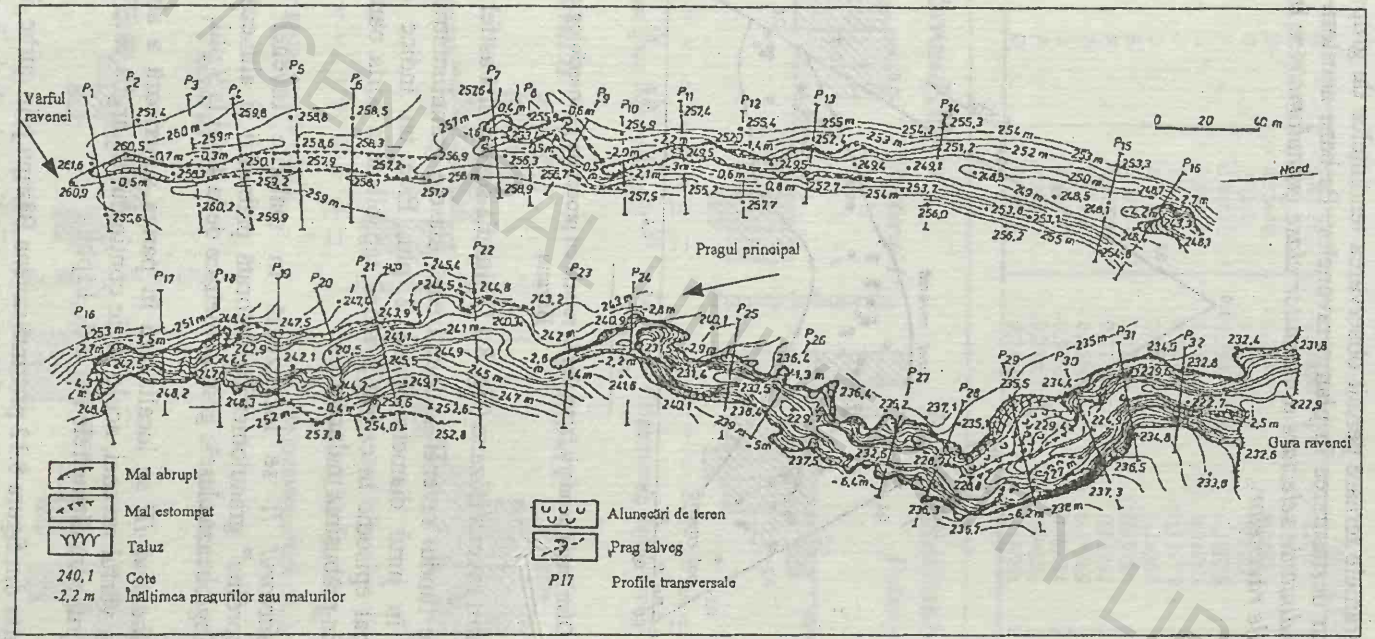


Fig. 8.12. Plan de situație a ravenei Bâzanu.

BCU IASI CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

În cazul ravenei Gurguiata Mare (fig. 8.13), distribuția ponderilor factorilor este în relație cu gradul de stabilizare a malurilor de ravenă:

Factorul I se grupează pe malurile în curs de stabilizare a ravenei și indică un material bogat în silt.

Factorul II se concentrează pe malurile în care conținutul de argilă este ridicat iar alunecările de teren sunt predominante.

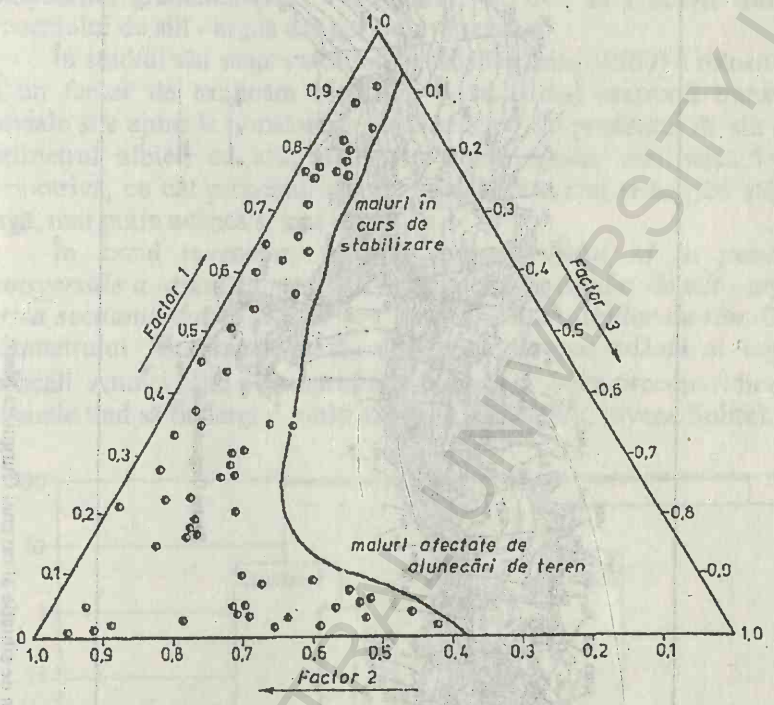


Fig. 8.13. Distribuția ponderii factorilor în relație cu procesele geomorfologice din ravena Bâzanu.

Harta în curbe de nivel a ravenei Gurguiata Mare (fig. 8.14) arată o ravenă evoluată de tip continuu, cu versanți largi, afectați de alunecări de teren care tind să îngusteze foarte mult talvegul. În multe sectoare talvegul este adâncit în materiale alunecate.

In concluzie, analiza factorială de tip *Q-mod* a condus la obținerea a maximum *3 factori* dintr-un număr de 11 variabile granulometrice analizate. În plus, fiecare factor este asociat cu o anumită distribuție granulometrică care este interpretată ca răspuns textural la unul din procesele geomorfologice dominante în arealul ravenei: *factorul I* - transport longitudinal pe fundul ravenei; *factorul II* - surpări și alunecări pe malurile ravenei; *factorul III* - procese de acumulare a argilei în depozitele de ravenă. Problema proceselor geomorfologice la nivelul ravenelor va fi discutată într-o secțiune specială a lucrării.

BCU CLUJ CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

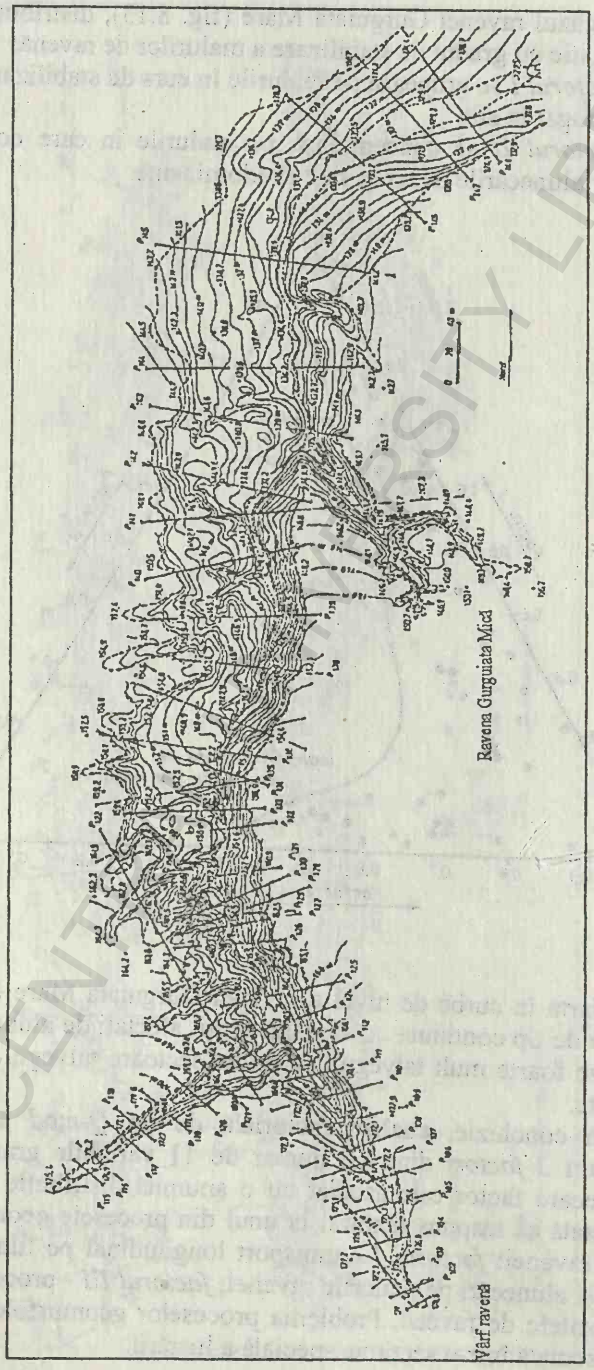


Fig. 8.14. Plan de situație al ravenei Gurguiata Mare.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

8.2.3. *Media ponderată a conținutului de silt - argilă din secțiunea transversală - criteriu de clasificare a ravenelor*

Analiza factorială a relevat, în mod cu totul special, rolul parametrului *M* care înglobează caracteristicile geometriei secțiunii transversale a ravenei și cele ale compoziției granulometrice. Parametrul, dealtfel, se numește media ponderată a procentului de silt - argilă din perimetrul ravenei.

În studiul său asupra albiilor de râu, Schumm (1960) a folosit acest parametru ca un factor de explicare a formei și stabilității secțiunii transversale a albiei aluviale și a ajuns la următoarea concluzie: cu cât procentul de silt - argilă crește în perimetrul albiei, cu atât albia este mai îngustă, mai adâncă și mai stabilă; dimpotrivă, cu cât procentul de silt - argilă este mai redus, cu atât albia este mai largă, mai puțin adâncă și mai instabilă.

În cazul ravenelor, *variația parametrului M în perimetrul secțiunii transversale a arătat că media ponderată a procentului de silt - argilă controlează forma secțiunii, dar în sens invers decât în cazul albiilor de râu.* O valoare mică a parametrului *M* caracterizează, de regulă, ravene adânci și înguste, cu pereți verticali. Atunci când perimetrul este alcătuit dintr-un procent ridicat de silt - argilă, ravenele tind să fie largi și puțin adânci (de exemplu, ravena Sulița).

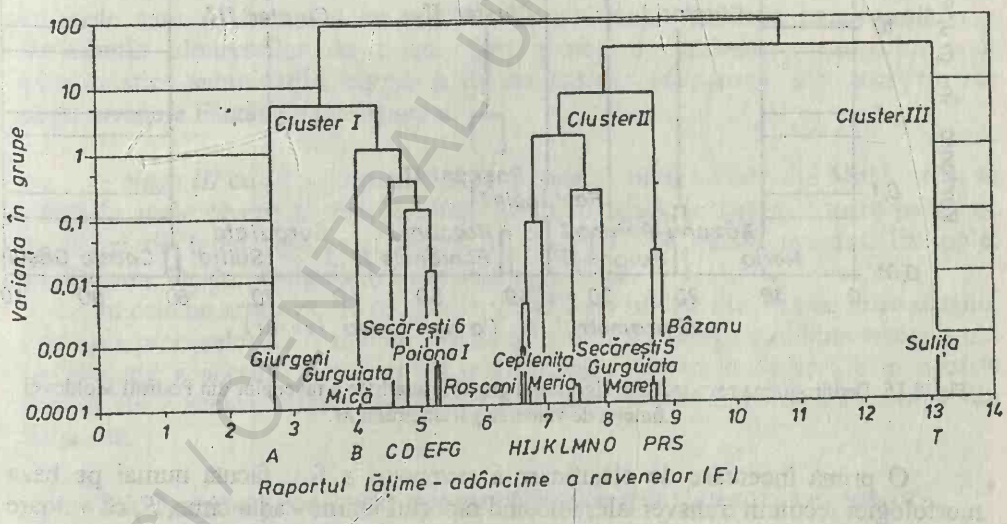


Fig. 8.14. Dendrograma rezultată din algoritmul grupării ierarhice a ravenelor din Podișul Moldovei funcție de valoarea raportului lățime - adâncime, *F*.

În consecință, parametrul *M* a fost ales drept *criteriu de clasificare a ravenelor* din cauză că în formula lui se includ, simultan, mai multe variabile independente. Dendrograma obținută pentru ravenele studiate (fig. 8.15) reprezintă

un test care susține această observație. Metoda de clasificare folosită aparține statisticii multivariate și se bazează pe analiza variației. Procedura are o lungă istorie în geografie, preocupată fiind de gruparea zonelor cu trăsături similare pe „regiuni" și încă se folosește cu succes. Scopul clasificării este de a grupa observațiile în categorii ce cuprind individualități similare și de a separa individualitățile disimilare în categorii diferite. În termenii analizei variației, similaritățile sunt determinate prin minimizarea variației în grupe, iar disimilaritățile prin maximizarea variației între grupe. Pentru orice set de observații, trebuie găsită acea grupare care îmbină ambele criterii de mai sus, producând, astfel, cel mai mare raport F a lui Snedecor între ele (Johnston, 1986). Evident, efortul de calculație este imens, aproape imposibil fără un calculator electronic. În ceea ce ne privește, am realizat clasificarea ravenelor utilizând programe de calculator specializate pentru statistică multivariată.

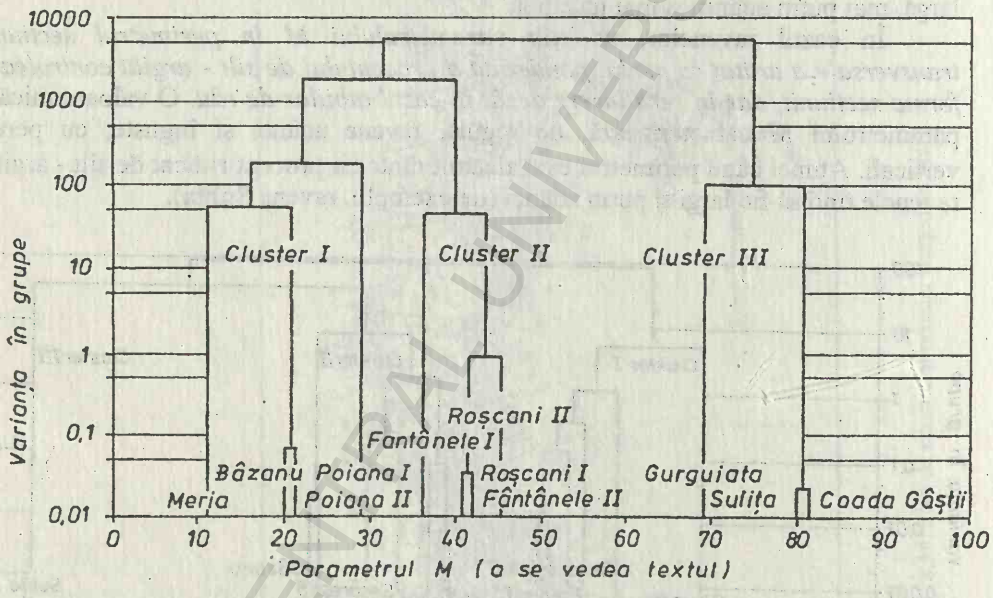


Fig. 8.15. Dendrograma rezultată din algoritmul grupării ierarhice a ravenelor din Podișul Moldovei funcție de valoarea parametrului M.

O primă încercare de clasificare a ravenelor a fost făcută numai pe baza morfologiei secțiunii transversale, folosind raportul lățime - adâncime, F, ca valoare medie pentru fiecare ravenă studiată. La acest nivel de abordare au fost identificate trei clustere sau grupe de ravene:

– în prima grupă s-au clasat ravenele cu raport lățime - adâncime cuprins între 3 - 5, adică ravene sau sectoare de ravene foarte înguste (precum Giurgeni sau Gurguiata Mică) și foarte adânci;

– în grupa a doua s-au clasat ravenele cu raportul lățime - adâncime cuprins

între 6 și 9, ravene dezvoltate atât pe lățime cât și pe adâncime (Meria, Ceplenița, Bâzanu);

– cea de a treia grupă include doar o singură ravenă a cărui raport lățime - adâncime este mai mare de 13 și caracterizează ravena Sulița.

Această clasificare, deși corectă din punct de vedere metodologic, nu a realizat o grupare prin care să separăm anumite tendințe „geografice", ci mai degrabă a evidențiat o ierarhie în cadrul dimensiunii ravenelor studiate de noi. Am adus-o în discuție tocmai pentru a scoate în evidență cea de a doua clasificare în funcție de parametrul *M* (fig. 8.15), unde aceleași ravene, prin ierarhia realizată, au căpătat o valoare de generalizare mult mai mare; este vorba de faptul că în parametrul *M*, îmbinându-se valori ale morfologiei ravenei și ale depozitelor în care acestea s-au adâncit, se pot identifica anumite regiuni geografice cu anumite caracteristici ale ravenelor. Iată, de exemplu, cum arată această clasificare pentru regiunea Podișului Moldovei:

– *clasa I* cu $M \cong 20$ caracterizează zona de sud a Podișului Moldovei unde ravenele prezintă următoarele trăsături comune: sunt adânci și înguste, cu praguri de obârșie foarte mari și cu maluri care se retrag prin subminarea bazei, prăbușiri etc. Exemple: ravenele Meria, Bâzanu, Poiana.

– *clasa II* cu $M \cong 40$ caracterizează zona mijlocie a Podișului Moldovei unde ravenele care se formează au tendința de a-și lărgi secțiunea transversală prin contribuția alunecărilor de teren. Spre partea de obârșie a ravenelor sunt caracteristice subminările, curgerile de pământ sau prăbușirile. Din acest tip fac parte ravenele Fântânele sau Roșcani.

– *clasa III* cu $M \cong 80$ caracterizează zona de nord a Podișului Moldovei și se referă la acele ravene a căror evoluție este controlată, în cea mai mare parte, de alunecări de teren care se dezvoltă imediat aval de vârful ravenei. Exemple: Ungureanu, Deleni, Gurguiata, Coada Gâștii, Sulița.

În cele ce urmează, ne propunem să aducem în discuție, în mai mare detaliu, tipologia proceselor de la nivelul ravenelor pentru a înțelege mai bine mecanismul de evoluție a acestor formațiuni geomorfologice. Punctele de sprijin în această analiză vor fi aceleași cazuri discutate deja și, în plus, vom folosi și alte exemple din literatură.

8.3. Natura proceselor geomorfologice din sistemul ravenelor

Efortul de cuantificare a geometriei ravenelor contribuie într-o mare măsură, în lipsa unor măsurători directe, la evaluarea proceselor geomorfologice ce au loc în ravene. Există relativ puține date asupra tipului și ratei proceselor într-o ravenă. De referință sunt lucrările grupului de lucru al Serviciului American al Conservării Solului condus de R. F. Piest, care a publicat numeroase rapoarte asupra proceselor

de eroziune în ravene (Piest et al., 1975; 1976; Bradford, Piest, 1980; Roloff et al., 1981). După acești autori, procesele caracteristice într-o ravenă sunt de două feluri:

- *procese de mal* (de tip *mass - wasting*, șiroiri, *badlands* - uri) care au rol dominant;

- *procese de transport longitudinal* cu rol secundar.

8.3.1. *Procesele de mal*

În domeniul proceselor de mal se disting *forțele declanșatoare*, responsabile de desprinderea depozitelor din malul ravenelor și *forțele de rezistență la forfecare* a depozitelor respective. În acțiunea *forțelor declanșatoare* un rol deosebit îl are:

- greutatea apei adăugată la masa de sol și care provine din infiltrația de suprafață;

- apariția fenomenului de *seepage* (prelingerea apei) în baza malului;

- reducerea coeziunii materialului prin reducerea tensiunii capilare în zona nesaturată;

- gravitația.

Măsurătorile asupra prezenței apei în depozitele de sol au arătat că *nivelul cel mai ridicat al pânzei freatice se află la baza pragului de obârșie a ravenei.* De aceea s-a ajuns la concluzia că *forța de* seepage, *mai mare la vârful ravenei, este responsabilă pentru dinamica mult mai accentuată a prăbușirilor capetelor de ravenă decât a malurilor ravenei.*

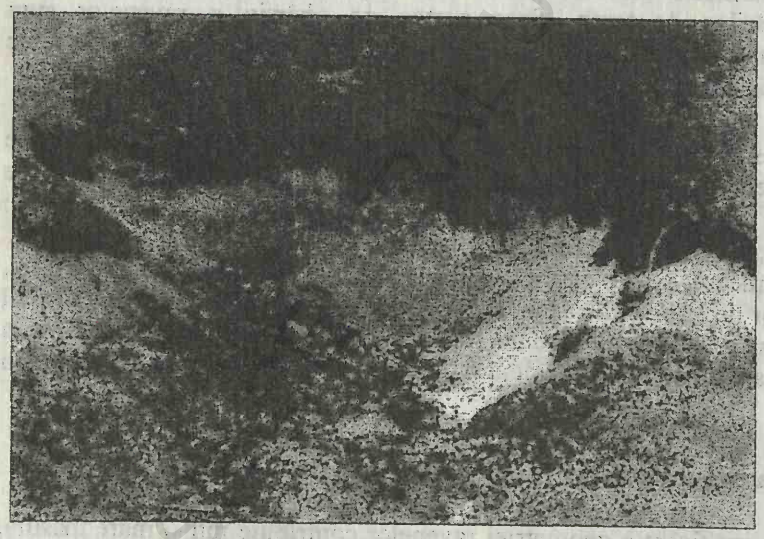


Foto 8.2. Dinamica malurilor la vârful ravenei de versant din bazinul Pângărați; ilustrare a efectului forțelor de *seepage* în zona pragului de obârșie.

Forțele de rezistență ale depozitelor din malul ravenelor se datoresc rezistenței la forfecare a masei de sol, exprimată prin ecuația lui Coulomb:

$$\tau_f = C' + (\sigma_n - \mu) \operatorname{tg} \phi$$

unde τ_f = rezistența la forfecare, C' = coeziunea, ϕ = unghiul de frecare internă, σ_n = forța normală pe planul de forfecare; μ = presiunea apei din pori.

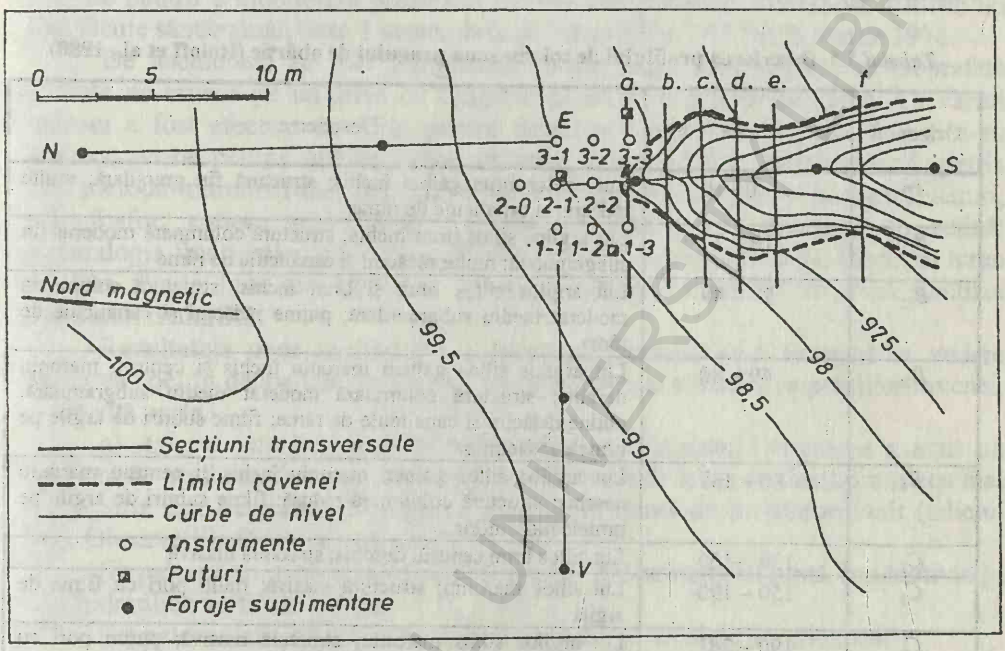


Fig. 8.16. Localizarea instrumentelor, secțiunilor transversale, forajelor suplimentare la vârful unei ravene din Iowa, S.U.A. *MN* – nord magnetic (Roloff et al., 1980).

În ceea ce privește tipurile de forfecare a malurilor de ravenă, acestea pot fi:

- *forfecare circulară* (în arc), care se poate produce pe maluri de 51° înclinare, imediat avale de punctul de obârșie în condiții prelungite de umezeală sau adâncire a ravenei. Dacă panta este mai mare (de 77°), desprinderea materialului se face pe un plan;

- *desprinderi columnare*, care se produc în apropierea obârșiei ravenei, în depozitele de loess. Sunt mai rare în celelalte tipuri de depozite;

- *subminarea bazei prin formare de nișe de eroziune*, care se produce la ravenele cu transport longitudinal mai activ.

Pentru exemplificare am reținut cercetările complexe efectuate de Bradford et al. (1978) și Roloff et al. (1980) în zona loessurilor din Iowa, SUA, frecvent secționate de ravene cu maluri abrupte, care au redus suprafața agricolă a regiunii și au contribuit la creșterea debitului de aluviuni al râurilor. A fost selectată o ravenă care la vârf are 2 m adâncime și 3 m lățime, suprafața de drenaj amonte de vârf fiind de 70 m² (fig. 8.16).

Structura depozitului ravenat se caracterizează prin prezența unui strat de sol fosil în bază, format în ultimul interglaciar, peste care se dispune un depozit loessoid, acumulat în ultimul glaciar. În acest nivel loessoid s-a format solul actual, a cărui descriere este dată în tabelul 8.5.

Tabelul 8.5. **Descrierea profilului de sol din zona pragului de obârșie (Roloff et al., 1980)**

Orizontul	Adâncimea (cm)	Descrierea
Ap	0 –10	Lut siltos brun gălbui închis; structură fin granulară; multe rădăcini și canalicule de râme
B_{11}	10 – 27	Lut argilos siltos brun închis; structură columnară moderat fin subgranulară; multe rădăcini și canalicule de râme
B_{12}	27 – 49	Lut argilos siltos brun și brun închis; structură columnară moderat mediu subgranulară; puține rădăcini și canalicule de râme
B_{21}	49 – 80	Lut argilos siltos galben maroniu închis și cenușiu maroniu deschis; structură columnară moderat mediu subgranulară; puține rădăcini și canalicule de râme; filme subțiri de argile pe urmele rădăcinilor
B_3	80 – 139	Lut argilos siltos galben maroniu închis și cenușiu maroniu deschis; structură columnară redusă; filme subțiri de argile pe urmele rădăcinilor
C_1	139 –150	Lut siltos brun cenușiu deschis; structură masivă
C_2	150 – 190	Lut siltos maroniu; structură masivă; mulți pori cu filme de argilă
C_3	190 – 283	Lut argilos siltos maroniu; structură masivă; puțini pori cu filme de argilă
$II\,A_b$	283 – 320	Lut argilos siltos galben maroniu; structură columnară slab spre mediu subangulară; puțini pori cu filme de argilă
$II\,B_b$	> 320	Argilă brun gălbui închis; structură columnară slabă; pietricele 1 - 2 cm în diametru

Tabelul 8.6. **Proprietăți fizice, mineralogice și chimice ale probelor de sol din profilul de la obârșia ravenei din figura 8.16**

Orizontul	Adâncimea	Argila	Desitatea volumetrică	Mineralogia	pH	Materia organică	P	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+
	(cm)	(%)	(g/cm³)			(%)	(ppm)	meq/100 g		
A_p	0-10	28	1,35	M>K>MI	5,4	2,1	17	6,2	2,8	0,4
B_{11}	10-27	36	-	M>K>MI	5,0	1,1	13	8,5	4,4	0,3
B_{12}	27-49	36	-	M>K>MI	4,8	0,6	37	8,1	4,6	0,3
B_{21}	49-80	38	-	M>K>MI	4,8	0,5	65	8,9	5,1	0,3
B_3	80-139	29	1,38	M>K=MI	5,2	0,5	127	8,3	4,8	0,3
C_1	139-150	26	-	M>K>MI	5,3	0,7	85	7,6	4,4	0,2
C_2	150-190	28	1,44	M>K=MI	5,6	0,6	126	7,2	3,9	0,2
C_3	190-283	24	1,45	M>K=MI>V	5,6	0,7	69	6,1	3,1	0,1
IIA_b	283-320	31	-	M>K	5,7	1,6	3	9,3	4,1	0,2
IIB_b	>320	64	1,46	M>K	5,4	0,7	1	18,4	7,8	0,9

M = montmorillonit; K = caolinit; MI = mica; V= vermiculit

Ravena a fost instrumentată cu trei puțuri cu apă și nouă grupe de piezometre și tensiometre amonte de vârful ravenei. Piezometrele și tensiometrele au fost folosite pentru a monitoriza presiunea hidrostatică pozitivă și negativă. Citirile au fost făcute săptămânal, între 1 septembrie și 1 decembrie 1977 și în martie 1978.

De asemenea, au fost înregistrate precipitațiile și scurgerea de suprafață amonte de ravenă pe un areal cu lungime de 20 m și lățime de 10 m. La vârful ravenei a fost efectuat un foraj pentru descrierea profilului (tabelul 8.5) și s-au prelevat probe pentru analize fizice, chimice, mineralogice, astfel: granulometria prin metoda hidrometrului; densitatea volumetrică prin metoda volumetrică; săruri, pH, fosfor, cationi schimbabili, materie organică prin proceduri de rutină; mineralogia fracțiunilor argiloase - difracția razelor *X* (tabelul 8.6). Direct în teren au fost făcute teste de forfecare pentru a obține parametrii necesari analizei stabilității malurilor.

Rezultatele unor analize de o asemenea complexitate au avut în vedere mișcarea apei în depozitele de ravenă, pe de o parte, și stabilitatea pereților ravenei, pe de altă parte.

a) *Asupra mișcării apei la vârful ravenei.* Paleosolul îngropat a avut un conținut de argilă de două ori mai mare decât stratul de loess de deasupra și cea mai mare parte din fracțiunea de argilă a fost reprezentată de montmorillonit (tabelul 8.6). Observațiile făcute au arătat că

(i) paleosolul a obturat mișcarea apei în profunzime datorită conductivității sale hidraulice verticale reduse,

(ii) paleosolul a captat o cantitate de apă din perioadele anterioare și

(iii) paleosolul era normal nesaturat.

În multe ravene din regiune, zona de *seepage* s-a întâlnit pe pereții pragului de obârșie deasupra nivelului de paleosol. Datele asupra înălțimii piezometrice înregistrate pe 8 noiembrie au fost folosite pentru a reprezenta liniile echipotențiale prin interpolare grafică, presupunând că fiecare aliniament de instrumente a materializat un plan vertical ce a secționat vârful ravenei paralel cu axa ravenei (fig. 8.17). Presiunea hidrostatică a fost mai mare în piezometrele din partea superioară a profilului la cca 1 m deasupra nivelului IIB_b în toate trei planurile. Deasupra acestui punct, valorile presiunii hidrostatice au coincis cu adâncimile de la suprafață, adică apa era liberă.

Examinând liniile echipotențiale din figura 8.17, observăm că scurgerea apei s-a produs spre paleosol și spre baza peretelui de obârșie a ravenei la interfața cu paleosolul. Curgerea subsuperficială a fost ușor direcționată din planul 1 către planul 2 și din planul 2 către planul 3. Aceasta s-a datorat probabil diferenței de înălțime între cele trei plane.

b) *Asupra stabilității malurilor de ravenă.* Loessul și solurile derivate sunt supuse la pierderi de rezistență prin adăugare de apă din cauză că argila își pierde legăturile. Bradford et al. (1978) au sugerat că o descreștere în rezistența solului, datorită infiltrației apei sau creșterii nivelului hidrostatic, este un factor major în cedarea malurilor ravenelor formate din roci loessoide. Comportarea liniilor echipotențiale a arătat că apa se concentrează spre vârful ravenei, ceea ce duce la

descreşterea stabilităţii, producând eventual chiar cedarea malului. Secţiunea transversală *A* (fig. 8.18) este localizată deasupra pragului de obârşie a ravenei. Materialul desprins de pe pereţii ravenei este prezent la baza malurilor în cazul secţiunilor *C, D, E,* cedarea având loc în zona de *seepage.*

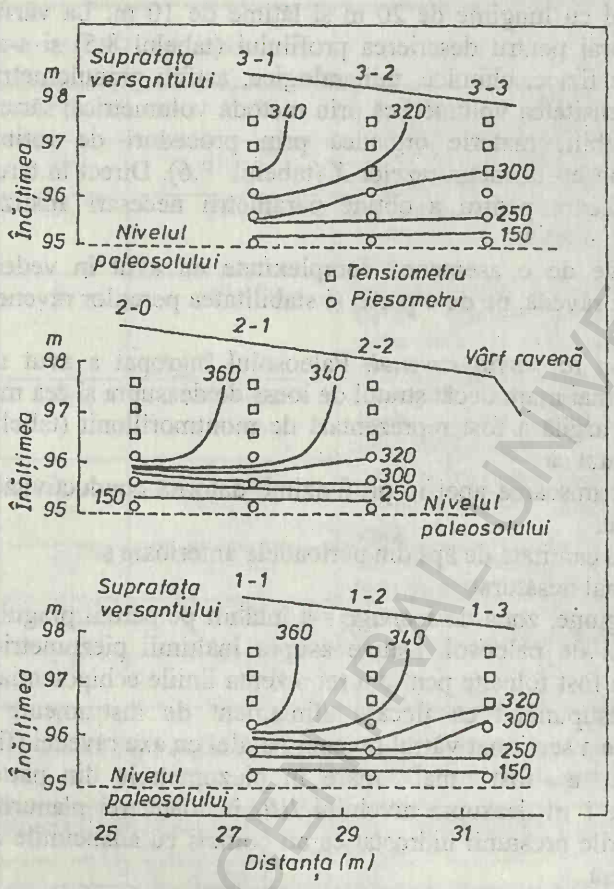


Fig. 8.17. Linii de egală presiune hidrostatică (centimetri de apă) deasupra vârfului de ravenă de-a lungul a trei plane ce secţionează longitudinal ravena (cf. schiţei din fig. 8.16) (Roloff et al., 1980).

Rezultatele testelor de forfecare pe probe netulburate au arătat că unghiul de frecare internă (ϕ) pentru orizonturile B_3 şi IIB_b au fost egale, în timp ce pentru orizontul C_2 acesta a fost mai mare. Unghiul redus de frecare internă arată o legătură redusă a particulelor şi o frecare prin alunecare particulă pe particulă în timpul forfecării. Proprietăţile fizice, chimice şi mineralogice ale solului influenţează ϕ dar aspectele macrostructurale ale solului au o influenţă majoră. Valorile mici de coeziune ale orizontului IIB_b pot fi explicate parţial prin conţinutul mare de argilă care era mai mult montmorillonit. Distanţa între particule creşte şi coeziunea este redusă când montmorillonitul se gonfleazăprin saturare. Planurile de forfecare ale malurilor urmăresc, în general, planurile de clivaj în masa depozitului cauzate de

ciclurile îngheț - dezgheț sau umezire - uscare. Aceste cicluri reduc stabilitatea prin formarea unui mare număr de planuri de clivaj.

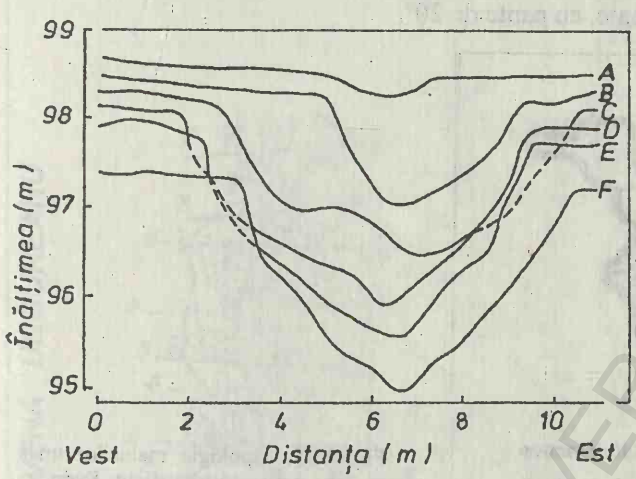


Fig. 8.18. Secțiuni transversale aval de obârșia ravenei (Roloff et al., 1980).

Cercetările detaliate raportate de echipa Roloff, Bradford și Scrivner (1980) ne-au ajutat să înțelegem mai bine mecanismul proceselor care au loc la obârșia ravenelor și care determină cedarea malurilor și regresarea ravenei. Situația prezentată are darul de a fi generalizată, mai ales în legătură cu mișcarea apei în profilul de sol, la vârful ravenei. De exemplu, o ravenă de tipul celei de la Giurgeni (a se vedea fig. 3.7, cap. 3), adâncită în luturi loessoide se comportă după mecanismul descris mai sus. Forma rezultată (în secțiune longitudinală și transversală) indică o concentrare a scurgerii areale și subterane la pragul de obârșie (profilul 23), acolo unde se realizează saltul hidraulic pentru apele ce se scurg la suprafață și cedarea malurilor prin umezirea depozitelor. Evidența proceselor geomorfologice într-un sistem simplu de ravenă pe baza cărora malurile sunt active, semiactive sau stabile poate fi de forma celei ilustrate în figura 8.19, unde malurile cu procese active ocupă 62%, malurile cu procese semiactive, caz în care poate apărea stadiul canelurat reprezintă 30% și numai 8% maluri stabile, bine înierbate, cu pante apropiate de unghiul de repaus.

În ceea ce privește evoluția malurilor, Blong (1980) propune un model simplu, pe care îl prezintă și Ioniță (1998) pentru ravenele din zona Bârladului. Astfel, au fost deosebite următoarele situații în evoluția malurilor:

- mal aproape vertical, cu unghiul la 90°, activ, situat în zona vârfului, afectat de meteorizație, șiroire laterală și/sau procese de subminare a bazei de către curentul principal;

- mal puternic înclinat, cu unghiuri de 70°, situat în vecinătatea din aval a zonei vârfului, afectat de meteorizație, șiroire laterală și/sau procese de subminare a bazei de către curentul principal; este un mal canelurat;

- mal înclinat, cu unghiuri de 40°, cu procese slabe de degradare (influența șiroirilor laterale se atenuează), în curs de stabilizare;
- maluri stabile, înierbate, cu pante de 20°.

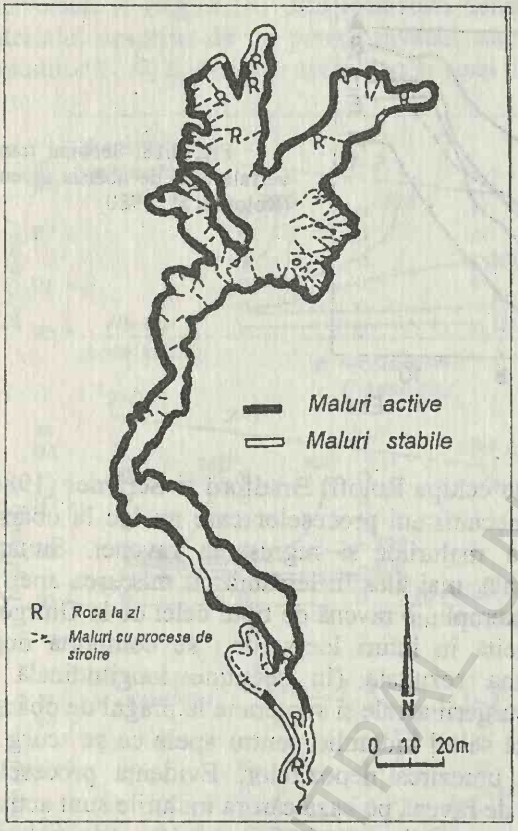


Fig. 8.19. Tipologia malurilor unei ravene din perimetrul Fairlight, Sydney, Australia (Blong, 1985).

Cea mai mare mobilitate a malurilor se consemnează în aval de vârfurile active, pe ravenele discontinue, succesive, cu fundul aluvionar parțial dezvoltat. La asemenea ravene, schimbarea cea mai însemnată constă în tendința de transformare a secțiunii inițiale, triunghiulare, în secțiune transversală trapezoidală, care devine favorabilă agradării (Ioniță, 1998).

Modelarea ravenelor prin procese de alunecare. În cazul proceselor de mal, o atenție deosebită o acordăm rolului alunecărilor de teren în evoluția ravenelor, cele mai multe observații fiind rezultatul cercetărilor experimentale proprii. Propunem o detaliere a discuțiilor privind rolul alunecărilor în cazul ravenei Ungureanu (fig. 8.20 și tabelul 8.7) care are o situație aparte și prin faptul că în morfologia ei se detașează net două sectoare: unul de la obârșie până la profilul 8, în care sunt evidente toate trăsăturile morfologice de ravenă, și al doilea sector, aval de profilul 14, în care toată morfologia exprimă, mai curând, un corp de alunecare, șenalul de drenare fiind discontinuu din cauza permanentei deplasări a masei deluviale.

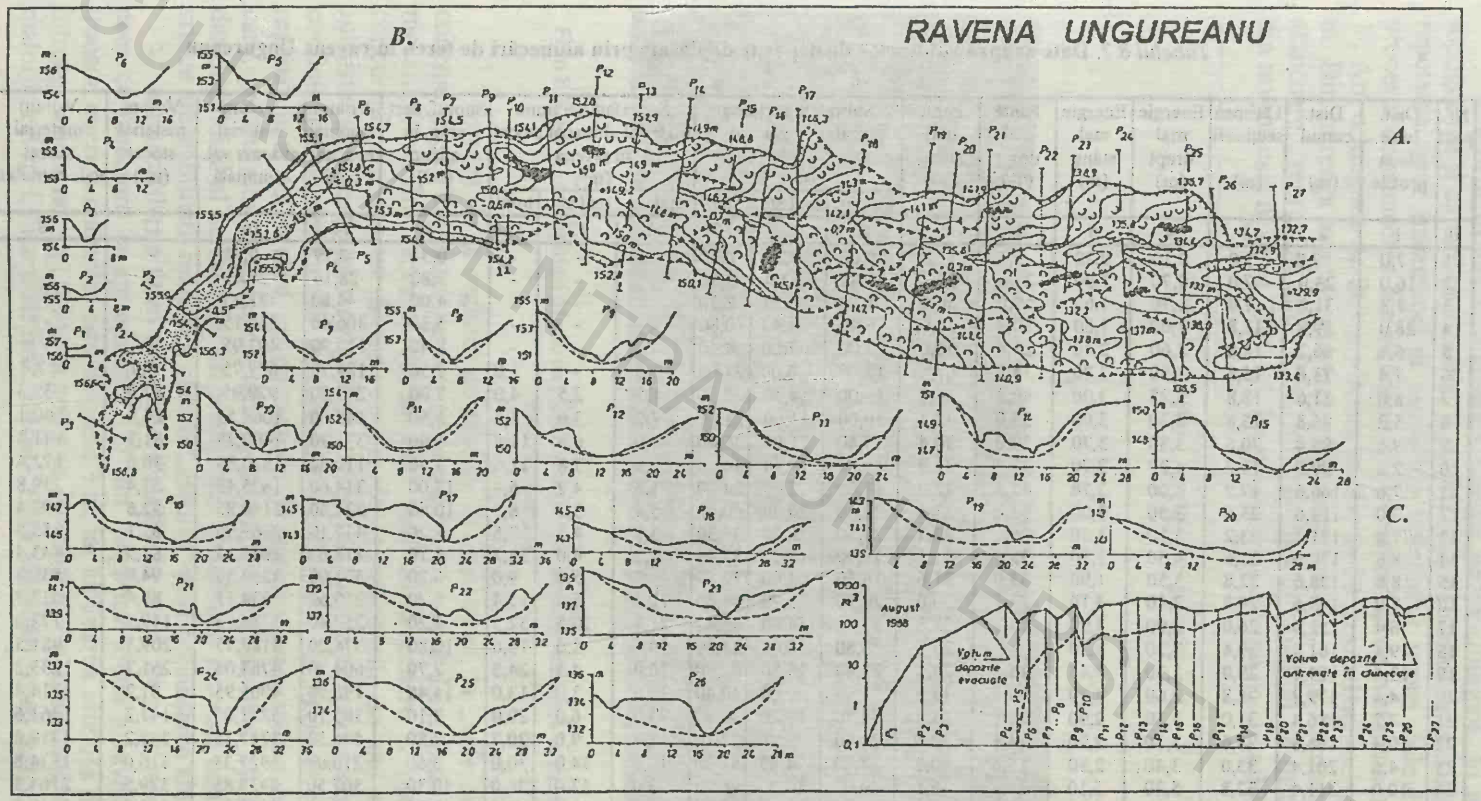


Fig. 8.20. Ravena Ungureanu: *A* - plan de situație cu indicarea cornișelor de desprindere, valurilor de alunecare și microdepresiunilor; *B* - profile transversale; *C* - Relația între volumele de depozite evacuate și cele antrenate prin alunecare în profilul longitudinal al ravenei (Rădoane et al., 1988).

BCU CENTRALA UNIVERSITARA LIBRARY

Tabelul 8.7. **Date asupra volumelor de depozite deplasate prin alunecări de teren în ravena Ungureanu**

Nr. prof	Dist. între două profile	Dist. cumul. (m)	Lățimea secțiunii (m)	Energie mal drept (m)	Energie mal stâng (m)	Pantă mal drept (%)	Pantă mal stâng (%)	Suprafață secțiune material evacuat (m²)			Suprafață secțiune material alunecat stocat în ravenă (m²)			Supraf. sect. eroz. în adânc (m²)	Volum material evacuat (m³)	Volum material evacuat val. cumulată	Volum material stocat (m³)	Volum material stocat val. cumulată
								mal dr.	mal stg.	total	mal dr.	mal stg.	total					
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	7,0	7,0	5,0	0,10	0,20	7,1	11,8	0,08	0,26	0,30	-	-	-	0,34	0,79	0,79	-	-
2	16,0	23,0	7,0	0,70	1,00	21,8	31,3	1,80	2,00	3,80	-	-	-	3,80	28,16	28,95	-	-
3	8,8	31,8	7,0	1,70	1,60	59,0	50,0	1,20	1,30	2,50	-	-	-	4,00	44,80	73,75	-	-
4	28,0	59,8	12,8	2,00	1,80	30,9	45,0	6,40	4,40	10,80	-	-	-	5,30	306,40	380,15	-	-
5	6,4	66,2	14,8	2,60	2,40	28,4	50,0	7,00	7,00	4,40	-	-	-	8,40	112,90	493,05	-	-
6	7,4	73,6	15,8	3,50	3,20	34,8	67,5	17,00	6,00	23,00	3,0	-	3,0	7,50	184,70	677,75	7,4	7,4
7	8,0	81,6	18,8	3,25	3,00	40,2	34,9	14,00	14,30	28,30	1,5	2,5	4,0	7,00	243,20	920,95	27,9	35,3
8	5,2	86,8	15,8	3,30	3,00	55,0	32,1	10,00	11,00	21,00	2,0	3,6	5,6	5,50	147,60	1068,55	24,8	60,1
9	9,6	96,4	20,6	3,80	3,70	39,0	30,4	15,40	21,00	36,40	5,0	6,8	11,8	6,90	331,70	1400,25	81,7	141,8
10	2,6	99,0	19,2	4,20	3,70	42,7	31,9	15,00	19,40	34,40	3,8	7,8	11,6	7,40	110,60	1510,85	30,6	172,4
11	7,6	106,6	17,2	3,00	3,70	45,5	42,9	11,00	13,00	24,00	1,2	4,2	5,4	17,00	314,60	1825,45	67,4	239,8
12	7,0	113,6	23,6	3,50	3,00	31,2	23,4	20,40	20,00	40,40	5,4	3,3	8,7	10,60	321,40	2146,85	52,6	292,4
13	7,8	121,4	23,2	3,50	3,50	26,1	29,2	21,30	28,00	49,30	3,2	4,3	7,5	7,20	417,10	2563,95	63,1	355,5
14	8,6	130,0	21,6	4,50	3,90	35,9	21,1	19,00	18,00	37,00	9,2	4,0	13,2	4,70	418,60	2982,55	87,9	443,4
15	8,6	138,6	22,8	3,50	1,90	53,0	21,6	18,50	4,00	22,50	4,0	5,0	9,0	6,20	301,00	3283,55	94,9	538,3
16	7,0	145,6	24,0	3,10	3,10	23,1	36,0	20,90	15,70	36,60	10,4	5,0	15,4	6,70	250,60	3534,15	84,4	622,7
17	6,4	152,0	26,0	2,90	3,90	12,3	32,3	17,40	14,00	31,40	21,8	10,5	32,3	4,20	252,40	3786,55	149,3	772,0
18	9,4	161,4	30,4	2,20	2,30	9,3	25,6	23,80	10,00	33,80	10,6	3,0	13,6	10,80	376,20	4162,75	209,5	981,5
19	13,4	174,8	29,0	3,30	3,45	15,3	28,6	27,40	15,50	42,90	20,0	4,5	24,5	2,70	604,30	4767,05	251,7	1233,2
20	4,4	179,2	28,8	2,60	2,30	14,3	39,6	21,40	9,00	30,40	10,0	3,0	13,0	14,40	198,90	4965,95	81,2	1314,4
21	7,2	186,4	31,0	3,10	2,90	14,1	23,3	24,70	12,20	36,90	23,0	6,0	29,0	3,10	305,10	5271,05	147,2	1461,6
22	10,4	196,8	28,6	3,10	2,90	14,1	32,5	28,60	8,50	37,10	11,7	9,0	20,7	8,80	446,30	5717,35	257,2	1718,8
23	4,6	201,4	33,0	3,40	2,80	15,6	20,8	27,00	14,80	41,80	16,0	14,0	30,0	3,60	210,00	5927,35	116,0	1834,8
24	10,0	211,4	32,8	5,30	5,10	21,5	35,1	29,00	17,00	46,00	23,0	13,0	36,0	10,30	507,50	6434,85	329,5	2164,3
25	12,2	223,6	33,0	4,10	4,20	25,9	34,6	21,50	25,00	46,50	22,0	11,4	33,4	8,20	566,10	7000,95	353,9	2518,2
26	6,0	229,6	28,6	3,00	4,10	22,0	46,1	17,00	15,90	32,90	24,0	7,0	31,0	7,00	282,60	7283,55	193,2	2711,4
27	12,0	241,6	22,0	3,60	3,50	28,6	34,3	19,00	15,00	34,00	4,0	6,5	10,5	13,30	522,60	7806,55	238,2	2949,6

Pentru a evalua o asemenea situație geomorfologică, în afara ridicării topografice și cartării proceselor, s-au făcut relevee transversale echipate pentru repetarea unor măsurători și evaluarea volumului masei deluviale aflate în procesul de alunecare. Ravena începe pe o suprafață de platou cu înclinarea sub 1°. Are o lungime de 263 m, lățime medie de 20 m și adâncime medie de 2,85 m. Din întreaga ravenă, sectorul cu alunecări active, care formează o „vale de alunecare", reprezintă circa 65%. Se apreciază că volumul de material evacuat din ravenă este de circa 7300 m³, iar cel stocat în ravenă de circa 3000 m³.

Foto 8.3. Ravena Gurguiata Mare, cu maluri afectate de alunecări de teren în treimea inferioară (foto N. Rădoane).

Trecerea de la regimul de ravenă, în sens strict, la „vale de alunecare" corespunde, în linii mari, trecerii de la platou la versant. Din punct de vedere al mecanicii rocilor, aceasta corespunde însă cu o cedare a malurilor prin concursul mai multor factori ce țin, în primul rând, de cei ce formează subsistemul rezistenței terenului (rezistență la forfecare, modul de deformație, coeficientul de deformație transversală, coeficientul de împingere în stare de repaus); în al doilea rând, cei cu caracter de perturbare a acestui subsistem, între care, pentru situații asemănătoare se menționează îndeosebi efectul îngheț - dezghețului și al perioadelor cu precipitații abundente. Aceasta conduce la stări critice ale stabilității malurilor care se „rezolvă" prin declanșarea alunecărilor.

Alunecările de teren apar la o distanță de circa 74 m de vârful ravenei, ceea ce înseamnă la aproximativ 1/3 din lungimea totală a ravenei. În acest tronson energia malurilor este de peste 3 m, iar înclinarea este cea mai mare din întreaga arie a ravenei (până la aproape 70 m/100). Cu apariția alunecărilor, în malurile ravenei, începe lărgirea ravenei. Sunt alunecări rotaționale.

Potrivit unor autori, în astfel de cazuri, extinderea alunecărilor poate conduce la realizarea unei stări de echilibru, în situația la care facem referință, până la aproape ½ din înclinarea malurilor. Pantele mai mici din anumite sectoare de mal corespund arealelor în care alunecările au preluat cel mai mult material (malul stâng între profilele 9 și 12; malul drept între profilele 9 - 14). Schimbarea arealului de cedare a malurilor prin alunecări este în relație cu schimbarea pantei malurilor și acțiunea de eroziune din baza lor, de schimbare spre un mal sau celălalt a „firului" curgerii.

Modelarea ravenelor prin îngheț – dezgheț. O preocupare specială în cercetările unuia dintre autori a fost în legătură cu modificarea secțiunii transversale a ravenelor prin ritmicitatea proceselor de îngheț și dezgheț al solului. Măsurătorile detaliate realizate de N. Rădoane (1980, 1984, 1988) pe mai multe secțiuni de ravene și maluri și concluziile obținute ne-au determinat să dedicăm o secțiune specială acestui fenomen.

Investigațiile asupra influenței exercitate de îngheț-dezgheț s-au făcut asupra unor formațiuni torențiale (ogașe, ravene) sculptate în depozite deluviale de versant, precum și asupra a 50 mici abrupturi naturale și antropice, reprezentând maluri de albii, cornișe de desprindere a alunecărilor, abrupturi de surpare, precum și abrupturi amenajate special pentru urmărirea procesului. Localizarea punctelor de măsurare este ilustrată în fig. 8.21, care se referă la perimetrul experimental al bazinului hidrografic Pângărați.

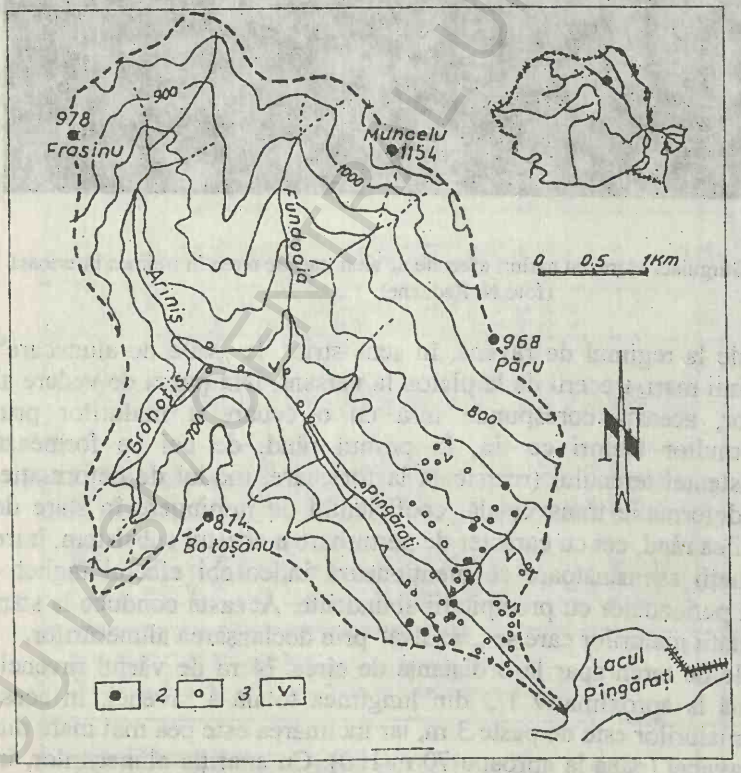


Fig. 8.21. Puncte în care s-au efectuat măsurători asupra efec-tului îngheț-dezghețului privind: *1* – adâncimea înghețului în sol; *2* – modelarea abrupturilor; *3* - în profilele unor ogașe și ravene (N. Rădoane, 1984).

Acesta are o suprafață de 18 km², relieful cu altitudini cuprinse între 1154 m în vârful Muncel și 363 m în zona de confluență a râului cu lacul Pângărați,

modelat în depozite de fliș cretacic-paleogen, iar versanții cu înclinări ce depășesc frecvent 20 – 25°; din punct de vedere climatic bazinul se înscrie în ținutul climatic al munților mijlocii, cu temperaturi medii anuale de 6 – 7°C, temperaturi minime medii anuale de 2 – 4°C și frecvente inversiuni termice specifice perioadei reci a anului. Cea mai mare parte din terenuri este ocupată de pădure (62%), restul de pășuni, fânețe și vetre de sat. Evaluarea modificărilor produse de către îngheț – dezgheț s-a făcut pe bază de măsurători topografice, pe profile transversale fixe, asupra ogașelor și ravenelor, efectuate atât toamna înainte de producerea înghețului în sol, cât și primăvara când s-a instalat dezghețul general. Abrupturile naturale și antropice au fost marcate cu picheți din lemn și metalici. La cele în baza cărora a existat material acumulat din anii anteriori, acesta a fost îndepărtat pentru a se permite o evaluare reală a acumulărilor rezultate într-un singur sezon, iar acolo unde situația nu a permis, materialul acumulat în etapele anterioare a fost lăsat în loc, făcându-se o evaluare volumetrică. La unele profile amenajate antropic, la baza abrupturilor s-au așezat foi de tablă sau de polietilenă pe care s-a acumulat material căzut. În acest fel s-a făcut o apreciere mai exactă asupra materialului acumulat (volum, unghi de dispunere, evoluția pe timp îndelungat a taluzului).

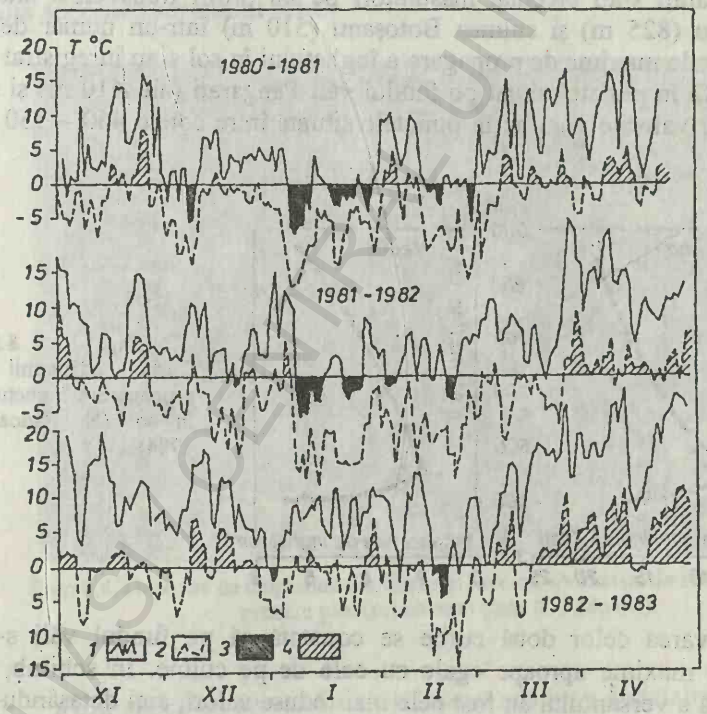


Fig. 8.22. Varia-ția amplitudinilor termice în sezonul rece la stația meteorologică Pângarați-stațiune: *1* – temperatura maximă absolută; *2* – tempe-ratura minimă abso-lută; *3* – îngheț total; *4* – dezgheț total. (N. Radoane, 1984).

Amploarea cu care se manifestă îngheț-dezghețul în procesul de dezagregare este dată, în principal, de ritmicitatea ciclurilor îngheț-dezgheț, ceilalți factori (profunzimea înghețului în sol, starea de umezire a solului, grosimea stratului de zăpadă, vegetația, expoziția versanților, tipul depozitelor) contribuind la atenuarea sau accelerarea efectului dat de această secvență.

Pentru evaluarea concretă a fenomenului s-au analizat temperaturile extreme în perioada 1980 – 1983 la stația meteorologică amenajată în bazinul Pângarați (altitudinea absolută de 470 m, în fosta incintă a Stațiunii Pângărați). Datele au fost reprezentate grafic (fig. 8.22) pentru a scoate în evidență variația amplitudinilor termice în jurul valorii de 0°. Astfel, s-au produs în medie 92 zile cu îngheț – dezgheț *în aer*, cele mai multe fiind în iarna 1981 – 1982 (101 zile). În această iarnă au fost situații când temperatura aerului a coborât noaptea la – 7,5°C, iar ziua a urcat la 9°C, rezultând o amplitudine de 16,5°C. În aceeași perioadă, la suprafața taluzurilor formate la baza câtorva abrupturi, situate pe același versant cu stația meteorologică, la sol s-au înregistrat temperaturi pozitive (8 – 12°C), chiar în zilele când temperatura în aer a fost negativă.

Prin corelația celor două elemente, T ° aer (Ta) – T °sol (Ts), s-a obținut ecuația:

$$Ts = 13{,}64 + 2{,}33\ Ta \qquad (r = 0{,}998)$$

Ecuația este valabilă pentru versanții cu expoziție SSV, situați la altitudini pentru care s-au făcut măsurătorile.

În ce privește cunoașterea *profunzimii înghețului în sol*, în bazinul hidrografic Pângarați s-au efectuat măsurători pe un profil transversal situat între culmea Păru (825 m) și culmea Botoșanu (510 m) într-un număr de 9 puncte fixe. Valorile maxime de propagare a înghețului în sol s-au înregistrat în iarna 1981 – 1982 în punctul situat pe fundul văii Pângarați (alt. 410 m) și au fost de 55 cm, iar valorile minime în punctele situate între cotele 450 – 550 m (fig. 8.23).

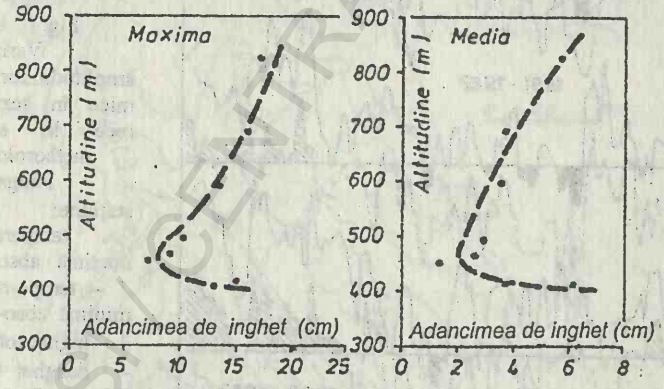


Fig. 8.23. Curbele adâncimii de propagare a înghețului în sol (N. Rădoane, 1984).

Din observarea celor două curbe se constată că pe fundul văii s-au înregistrat valori maxime aproape egale cu cele de pe culme. În schimb, în treimea inferioară a versantului au fost cele mai reduse valori, aici detașându-se o fâșie altitudinală pe circa 100 – 150 m mai caldă decât celelalte. Situația adâncimilor mari de îngheț de pe fundul văilor a fost determinată de frecvența inversiunilor termice ce se produc iarna, precum și de persistența pe perioade îndelungate a aerului rece care a favorizat ca solul să rămână înghețat.

Analiza detaliată asupra temperaturilor din aer și sol ne-au permis să apreciem adâncimea până la care au loc procesele de dezagregare ale rocii în

loc, dar mai ales a depozitelor de versant. Acestea din urmă, care în bazinul Pângărați au o grosime de 10 – 15 m (valori tipice pentru aria munților flișului) formează roca în care s-au adâncit cele mai multe ravene și ogașe. Profunzimea înghețului în astfel de depozite se transmite până la 40 – 50 cm. Dovadă sunt surplombele formate în malurile ravenelor.

În cazul umidității solului apropiată de coeficientul de ofilire al plantelor, temperatura de îngheț a solului este de –1,5°C. Solul foarte uscat rămâne necimentat, friabil, chiar după intensificarea temperaturilor negative. În iarna 1982 – 1983 au fost urmărite comparativ și două abrupturi amenajate antropic. Primul abrupt s-a situat la altitudinea de 490 m, pe versantul expus nordic. A fost determinată umiditatea depozitelor pe întreaga coloană de la ambele profile. La primul punct, cu umiditate mai redusă cu 10 – 15%, cantitatea materialului căzut și acumulat a fost extrem de mică, în comparație cu cea de la al doilea punct, unde depozitele au fost supraumectate. Rata de desprindere a materialului din cel de al doilea abrupt a fost de 10-12 ori mai mare. Observațiile detaliate asupra ritmicității îngheț – dezgheț depozitelor din malurile ravenelor au condus la separarea unor faze distincte în morfodinamica formațiunilor de adâncime și pe care le considerăm generale pentru condițiile morfoclimatice în care s-au realizat cercetările. Cele două faze sunt: una specifică sezonului rece și o alta specifică sezonului cald.

Foto 8.4. Depozite de umplutură ale fundului ravenei, secționate de scurgerile organizate la primele ploi (primăvara) (foto N. Rădoane).

Faza specifică sezonului rece începe odată cu instalarea înghețului în sol și se sfârșește odată cu apariția dezghețului general. Cuprinde intervalul decembrie – aprilie (în unii ani chiar parte din luna noiembrie) iar principalele modificări se produc sub directă influență a îngheț-dezghețului repetat. Este o fază specifică de pregătire a materialului ce urmează a fi transportat în sezonul cald. Este faza responsabilă pentru crearea unei secțiuni transversale cu surplombe în partea superioară a malurilor (a se vedea foto 6.1).

Faza specifică sezonului cald se instalează odată cu începerea scurgerii apelor provenite din precipitații (topirea zăpezii, ploi). Spre deosebire de faza anterioară, când agenții acționau asupra malurilor, în această fază, talvegul ravenelor este cel mai intens supus modificărilor datorită scurgerii apelor (foto 8.3), iar malurile sunt modelate, în principal, prin eroziune de suprafață. Acum un rol important îl are procesul de *rain splash*, dar și acțiunea de șiroire. Când ploile torențiale generează scurgeri importante pe ravene, materialul acumulat pe fundul acestora este îndepărtat la 1 – 2 ploi (dacă acestea sunt puternice), iar ravenele capătă aspectul unor "microcanioane" (foto 8.4).

Adeseori pe talvegul ravenei sunt prinse în mișcare și blocuri cu diametre până la 0,6 - 0,8 m provenite din depozitele de versant. Aceste blocuri sunt abandonate temporar pe talveg și pot deveni "nivele de bază" locale. Astfel, în spatele lor se produc mici acumulări, iar în avale eroziunea formează praguri și marmite. Atât dinamica profilului longitudinal, cât și a celui transversal al ravenelor pun în evidență tendința de meandrare, iar în convexitățile acestor sinuozități se produc surpări care contribuie la lărgirea ravenelor.

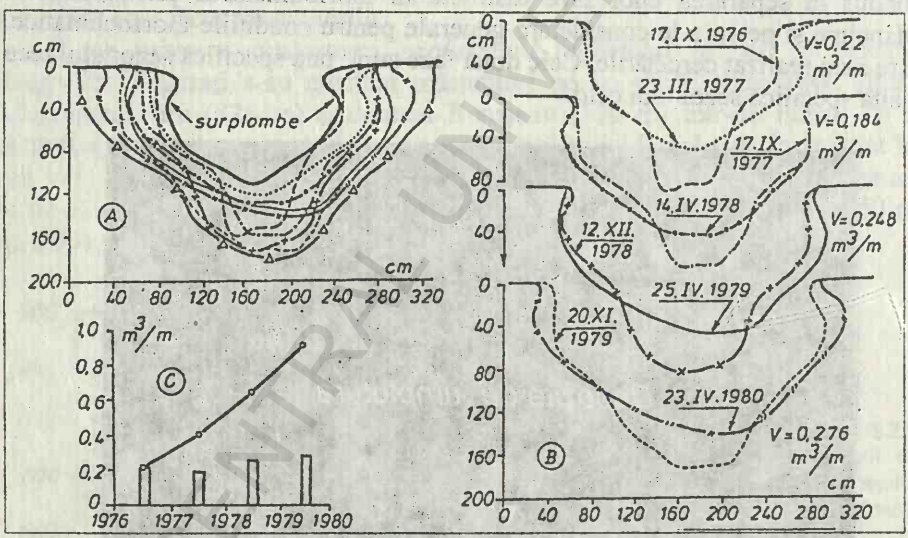


Fig. 8.24. Profile transversale repetate în secțiunea terminală a unei ravene. *A* – profile transversale repetate în secțiunea de măsurători; *B* – evaluarea modificărilor produse de îngheț – dezgheț; *C* – curba cumulativă a materialului dislocat sub efectul înghețului-dezghețului (N. Rădoane, 1984).

Analiza profilelor transversale scoate în evidență o simultaneitate între eroziune și acumulare, raporturile între aceste procese fiind diferite, în fiecare dintre cele două faze de evoluție a ravenelor; în faza sezonului rece domină acumularea, iar în faza sezonului cald domină eroziunea. În toate cele trei profile (fig. 8.24) este evidentă tendința de dominare a eroziunii, a cărei valoare medie calculată pentru cele trei profile este de 0,32 m³/an pe unitate de lungime. La o lungime a sectorului ravenei luate în studiu de 70 m, anual, în medie s-au evacuat circa 25 m³ material. Aparent, pare a fi puțin, dar dacă avem în vedere că acest sector nu reprezintă decât partea de vârf a ravenei, este o rată

apreciabilă care trebuie avută în vedere atunci când se fac amenajări antierozionale de tipul cleionajelor și a barajelor.

În concluzie, alternanța îngheț – dezgheț reprezintă un factor determinant în cedarea malurilor de ravenă și în crearea unei morfologii tipice a secțiunii transversale. Fenomenul prezintă o amploare maximă în condițiile în care a fost studiat (ale munților flișului, cu o perioadă de îngheț de peste 100 de zile); dar contribuția sezonului rece la morfodinamica ravenelor a fost apreciată ca fiind dominantă (pondere de 69%) și în condițiile Podișului Bârladului (Ioniță, 1998), perioadă apreciată drept staționară în ce privește viteza de înaintare a ravenelor, dar pregătitoare cu depozite gata a fi evacuate la sfârșitul sezonului rece și începutul celui cald. Ceea ce deosebește cele două situații prezentate este în legătură cu forma secțiunii transversale ale ravenelor formate în condițiile munților flișului, unde nișa de eroziune de la partea superioară a malurilor conferă o morfologie elipsoidală a secțiunii. Așa cum indică măsurătorile efectuate, forma eliptică se menține în timp (fig. 8.24) și aceasta datorită covorului de vegetație densă și rădăcinilor puternice care protejează partea superioară a solului.

8.3.2. *Procesele de transport longitudinal*

În domeniul proceselor de adâncire este importantă „curățirea" fundului de ravenă care are loc în timpul evenimentelor de scurgere, iar perioada cea mai eficientă este faza de declin a hidrografului (Bradford, Piest, 1980). Grupul de cercetare condus de Piest a urmărit ani de-a rândul procesele la nivelul ravenei în perimetrul din Iowa, citat mai sus. Măsurătorile lor au arătat că particulele necoezive ale depozitelor prăbușite în ravenă pot fi antrenate la viteze de 0,60 cm/s, însă pentru scurt timp vitezele scurgerii în ravenă pot depăși 3 m/s (Piest et al., 1975).

Rolul forțelor tractive ale scurgerii și puterii râului au fost examinate la nivelul unei secțiuni tipice de ravenă. Figura 8.25 *B* arată profilul de drenaj în vecinătatea capului de ravenă, iar figura 8.25 *C* arată o secțiune transversală și modul cum aceasta s-a modificat timp de 5 ani, între 1968 și 1973. Puterea râului pe unitate de lungime poate fi aproximată în mod satisfăcător prin folosirea formulei lui Manning pentru a calcula vitezele curentului în termenii razei hidraulice.

Vitezele în ravenă au fost de asemenea estimate din înregistrările nivel - debit și măsurătorile expediționare realizate într-o secțiune a ravenei amenajată mai în aval. Pentru secțiunea transversală din figura 8.25 *B*, a cărei pantă este de 0,0233 și valoarea maximă a lui n este de 0,075, formula lui Manning de calculare a vitezei devine:

$$V = 3{,}02\, R^{2/3},$$

în care V = viteza medie, $^{*}LT^{-1}$; R = raza hidraulică, L. Mai departe, se poate determina forța tractivă ,

---

* unitățile de măsură conform Sistemului Internațional

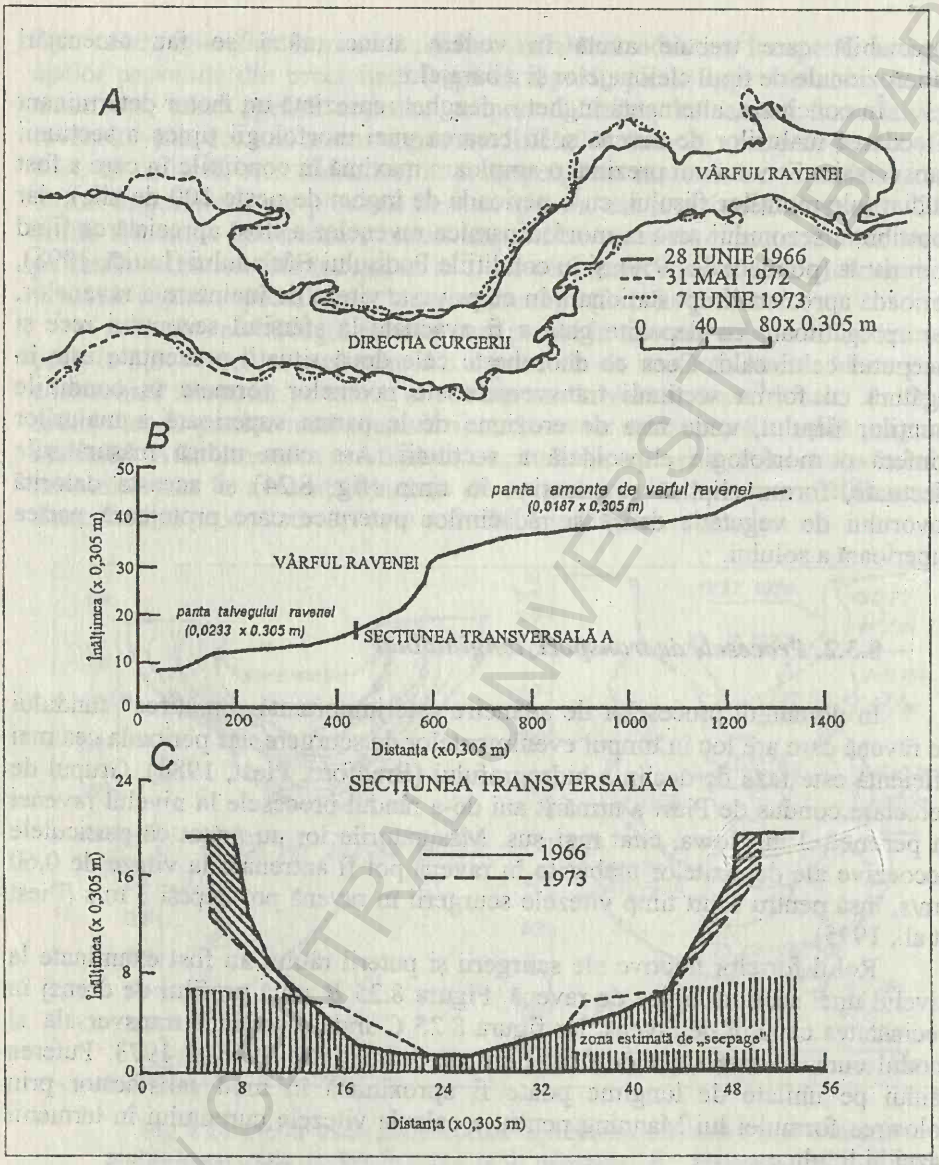


Fig. 8.25. Ravena nr. 2 din perimetrul Treynor, Iowa:
A – plan de situație în zona de obârșie; *B* – profil longitudinal; *C* – secțiune transversală tipică (Piest et al., 1975).

$$\tau = \gamma RS$$

și puterea râului

$$\omega = \tau w V = \tau PV$$

în care τ, FL^{-2}; γ = greutatea specifică a fluidului, FL^{-3}; S = panta gradientului de energie; $w = P$ = lățimea curgerii și perimetrul udat care sunt aproximativ egale, L. Puterea curentului pe unitate de lungime în timpul a patru evenimente

hidrologice a fost comparată cu rata eroziunii în ravenă (tabelul 8.8).

Datele arată că rata de mișcare a materialelor dintr-o ravenă viitură - cu - viitură nu este consistentă pentru orice rată dată a scurgerii sau pentru o valoare dată a forței tractive și chiar variază foarte mult pe ramul de creștere și cel de scădere al hidrografului.

Tabelul 8.8. **Forțe tractive determinate pentru patru viituri în relație cu transportul de aluviuni într-o ravenă (Piest et al., 1975)**

Q	Geometria scurgerii		τ	ω	Rata transportului de sedimente (tone/minute)											
	SS	*R*			22 mai 1965			20 iunie 1967			18 mai 1971			5 mai 1972		
× 0,028 mc/s	× 0,093 mp	× 0,305 m	× 4,883 N/mp	× 0,454 kg/s	*RC*	*VF*	*RS*	*RC*	*VF*	*RS*	*RC*	*VF*	*RS*	*RC*	*VF*	*RS*
10	4	0,6	0,9	15	1	-	1	-	-	-	0,4	-	0,4	0,2	-	0,1
50	14	1,0	1,5	70	8	-	14	0,7	-	0,2	5	-	0	3	-	1
130	29	1,5	2,2	180	-	0	-	4	-	6	8	-	0	-	5	-
250	48	2,1	3,1	370	-	-	-	25	-	7	-	9	-	-	-	-
430	70	2,5	3,6	610	-	-	-	-	50	-	-	-	-	-	-	-

SS – suprafata secțiunii transversale; *R* – raza hidraulică; *RC* – ram creștere hidrograf; *VF* – vârf hidrograf; *RS* – ram scădere hidrograf

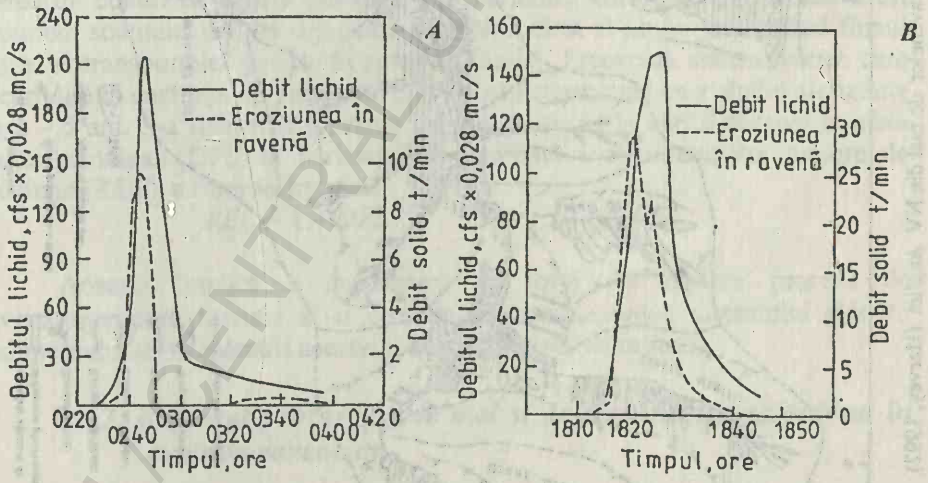


Fig. 8.26. Hidrograful debitelor lichide și solide pentru 2 ravene din perimetrul Treynor, Iowa (Piest et al., 1975): *A* – Ravena 1 monitorizată la 18 mai 1971, 29 de observații; *B* – Ravena 2 monitorizată la 5 mai 1972, 18 observații (Piest et al., 1975).

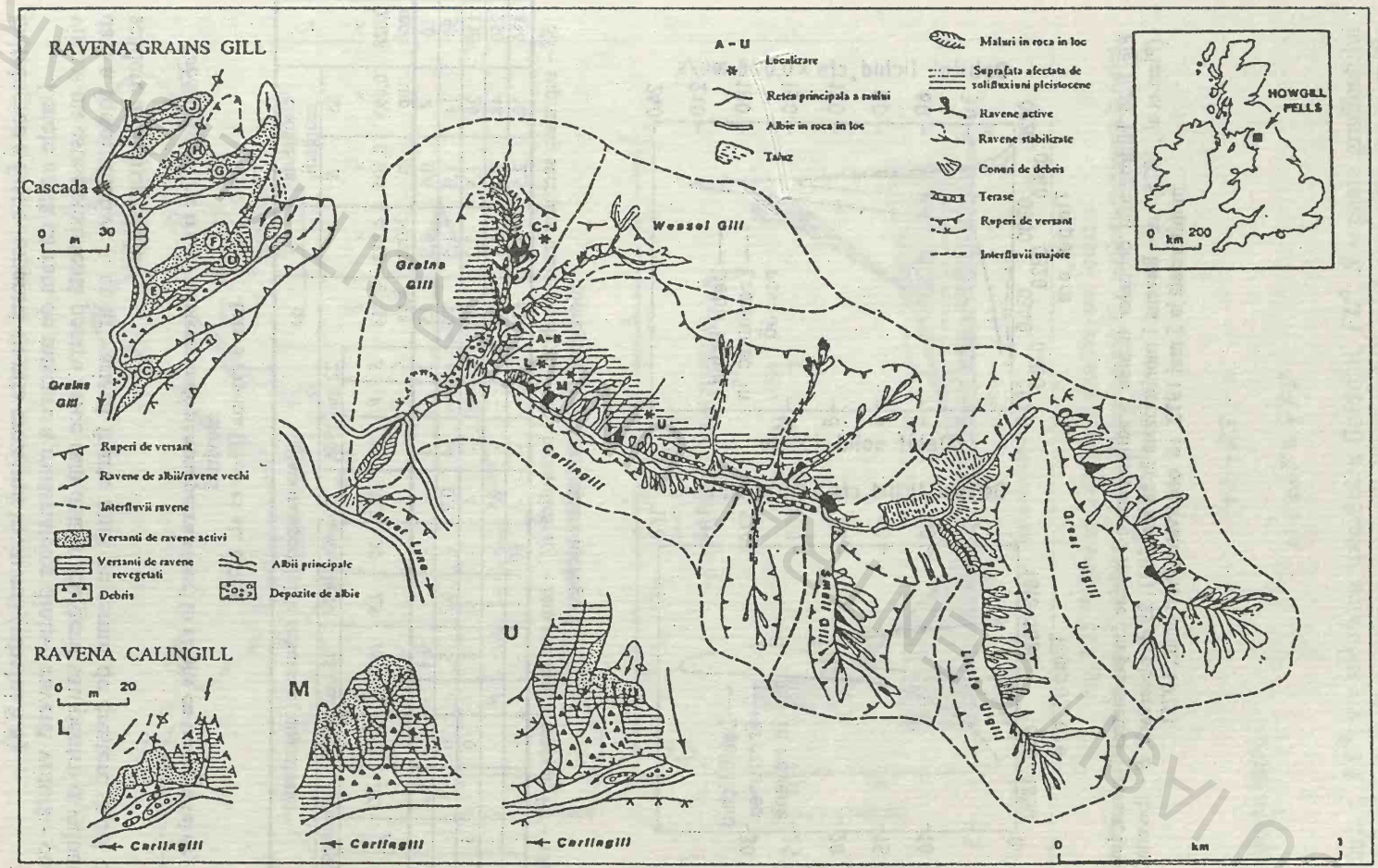


Fig. 8.27. Schiță geomorfologică a ravenelor de mal din NV Angliei (Harvey, 1992).

Deși ravena nu a fost curățită în totalitate de debrisul format în timpul retragerii hidrografului rata de transport al debitului solid a fost minimă din cauză că încărcătura cu sediment s-a redus drastic. Reducerea mare în rata de transport a materialului erodat din ravenă în timpul acestor viituri verifică faptul că *forța tractivă a scurgerii în lungul limitelor canalului nu are un rol major în eroziunea în ravenă.* Este concluzia prezentată și susținută cu argumentele măsurătorilor de către echipa lui Piest.

Observarea timp de 20 ani asupra unui sistem de ravene de mal în NV Angliei l-a condus pe Harvey (1992) la concluzia că există o intercorelare a proceselor de albie cu cele de evoluție a ravenelor de mal, controlată în mare măsură de sezonalitate. Localizarea geomorfologică a zonei studiate este arătată în fig. 8.27. Procesele de iarnă sunt dominate de mișcările în masă, iar cele de vară de eroziunea în suprafață. Producția de aluviuni de iarnă, în parte, influențată de îngheț-dezgheț și topirea zăpezii este mult mai mare decât aceea de vară. Pe terenurile ravenate producția de aluviuni de iarnă a fost în medie de 27.1 kg/m², iar cea de vară de 14.3 kg/m². Sedimentul produs a fost transportat în unul din multele areale de stocaj.

Sedimentul în suspensie a fost preluat de scurgere direct în sistemul fluvial și transportat în afară. Partea grosieră a fost acumulată în arealele de stocaj împreună cu materialul derivat prin procesele de mișcare în masă. Principalele areale de stocaj se află în talvegul ravenei și în zonele bazale (sub formă de conuri de debris sau taluzuri). Periodic, viiturile îndepărtează acest sediment acumulat și îl încorporează în debitul târât al râului, menținând fluxul mare al transportului grosier în sistemul fluvial. Frecvența acestor viituri care contribuie la curățirea ravenelor de mal a fost determinată ca având o ciclicitate de 2 – 5 ani. S-a stabilit și o relație între distanța de la vârful ravenei la albia râului principal (*DVL*) și perioada de recurență a evenimentelor majore de eroziune (*REC*), a cărei formă este:

$$REC = 1{,}4\, DVL^{0.05} \qquad (n = 13;\ r = 0{,}75).$$

Aceasta implică o descreștere în forța de cuplare procese de ravenație/procese fluviale și o creștere în complexitatea sistemului stocării sedimentului și îndepărtării acestuia, odată cu creșterea ravenei.

8.3.3. *Raportul proceselor de mal și de transport longitudinal în evoluția ravenelor*

Evaluarea ponderii fiecăruia din aceste două importante procese (de mal și de transport longitudinal) în dezvoltarea ravenei poate fi făcută prin cercetarea dinamicii secțiunii transversale (Veness, 1980). Este o metodă indirectă, deosebit de accesibilă și eficientă, care se bazează pe planimetrarea suprafețelor din secțiunile transversale aflate în succesiune în lungul ravenei: suprafața erodată prin procese de adâncire (*WA*) și suprafața erodată prin procese de mal (*WV*). În medalionul din figura 8.28 *A* este exemplificată o secțiune transversală de ravenă prin care se face aprecierea cât la sută din suprafața acesteia este formată prin procese de incizie verticală și cât la sută este formată prin procese de mal. Această metodă a fost aplicată și de noi în studiul ravenelor din Podișul Moldovei.

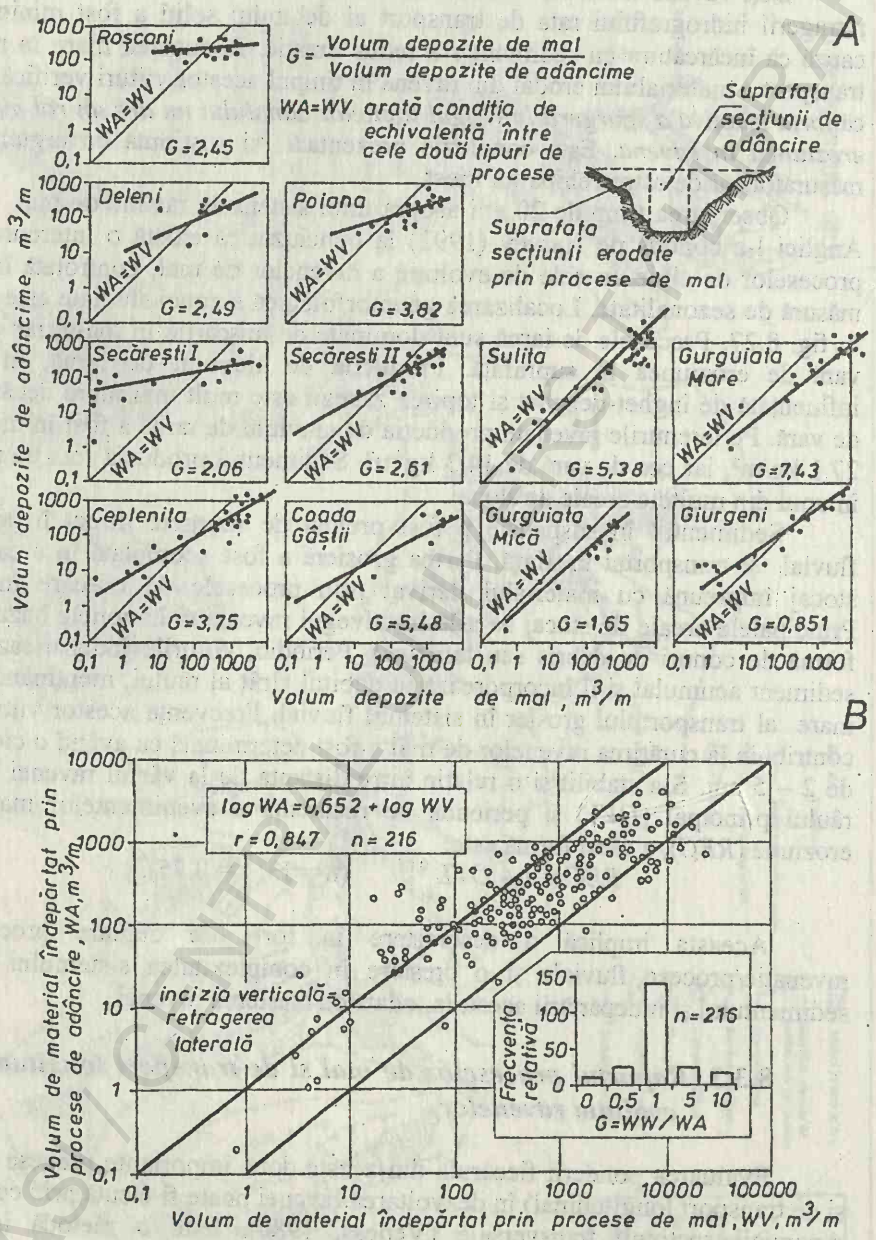


Fig. 8.28 *A*. Relația între volumul de material îndepărtat din secțiunea transversală prin procese de incizie verticală și prin procese de mal pentru fiecare ravenă studiată din Podișul Moldovei. *B*. Relația generalizată pentru ravenele din Podișul Moldovei între volumul de material îndepărtat din secțiunea transversală prin procese de incizie verticală și prin procese de mal (Rădoane et al., 1995).

În reprezentările grafice din figura 8.28 am plecat de la ipoteza că cele două proveniențe sunt echivalente (*WA = WV*), rezultatul fiind o dreaptă care

ne-a permis să evidențiem unde se plasează cu adevărat datele privind raportul *G* pentru fiecare ravenă în parte. Cu puține excepții, acest raport variază între 0,1 și 10, dar în proporție de peste 50% între 1 și 10.

Pe baza acestor materiale se pot face mai multe considerații:

– pe ansamblu, *procesele de mal* contribuie la eroziunea în ravene de 1 - 5 ori mai mult decât *procesele de adâncire* (de talveg);

– există tendințe diferite în profilul longitudinal al ravenelor în funcție de compoziția granulometrică a substratului. Astfel, pe roci cu mare conținut de silt –argilă, raportul $G = WA/WV$ este, în general, sub valoarea 1 (deci *domină adâncirea*) în treimea superioară a ravenei și peste valoarea 1 și chiar 10 în partea inferioară a ravenei (deci *domină retragerea laterală prin procese de mal*). În acest caz, forma în plan a ravenei este de „pană" și, pentru exemplificare, prezentăm ravena Gurguiata ca fiind tipică pentru situația discutată (fig. 8.29 *B*).

Pe roci cu mare conținut de nisip forma în plan a ravenei este, cel mai adesea, lobată (sau de pară), caz în care (ravena Poiana, fig. 8.29 *A*) procesele de mal sunt dominante în treimea superioară a ravenei, iar cele de adâncire în partea inferioară.

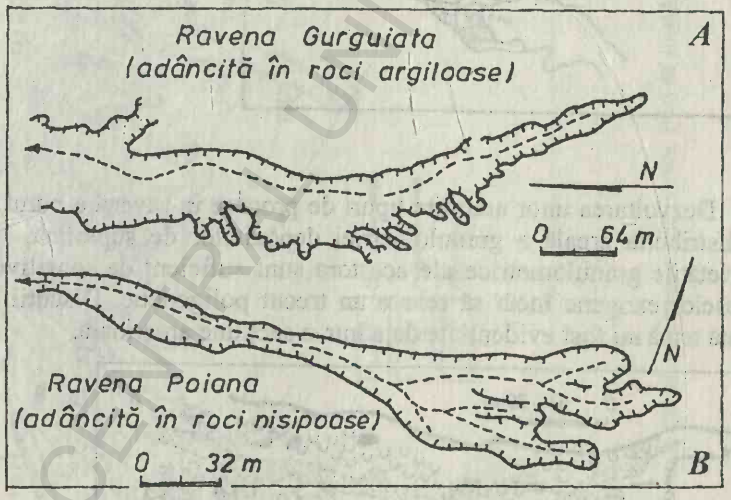


Fig. 8.29. Relația între tipul de procese dominante în ravenă și forma în plan a acesteia: *A* – ravenă în care domină procesele de adâncire în zona de vârf (de tip pană); *B* – ravenă în care domină procesele de mal în zona de vârf (de tip lobat) (Rădoane et al.,1995).

La o concluzie asemănătoare ajunge și Blong (1985) pentru ravenele din Australia, monitorizate în timp îndelungat cu ajutorul aerofotogramelor. Figura 8.30 ilustrează modul în care două vârfuri de ravenă au regresat și s-au lărgit într-o perioadă de 30 ani. În timp, lărgirea ravenelor încetează și malurile devin stabilizate odată cu creșterea distanței de la vârful ravenei.

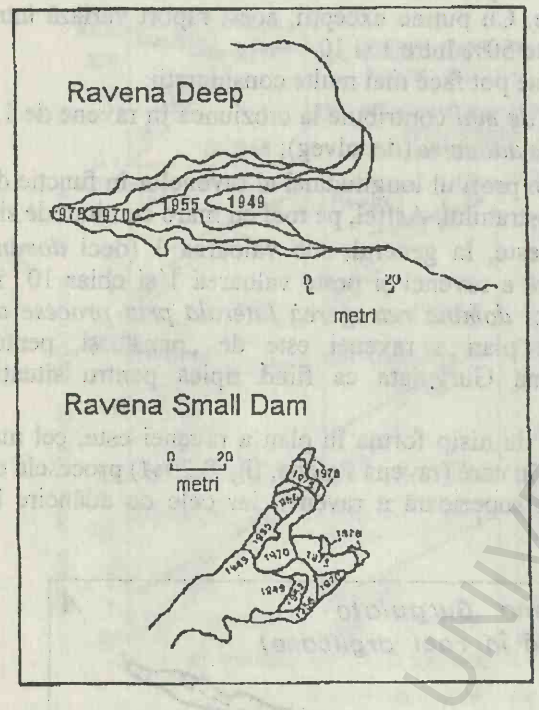


Fig. 8.30. Vedere în plan asupra evoluției areale a vârfurilor de ravenă în zona Razorback, lângă Sydney, Australia. Cifrele reprezintă anul monitorizării (Blong, 1980).

Dezvoltarea unor anumite tipuri de procese în ravenă a putut fi dedusă și din distribuția areală a granulometriei depozitelor de suprafață, știindu-se că proprietățile granulometrice ale acestora sunt suficient de senzitive la variația proceselor exogene încât să releve un trecut poligenetic. Discuții detaliate pe această temă au fost evidențiate deja într-o secțiune anterioară.

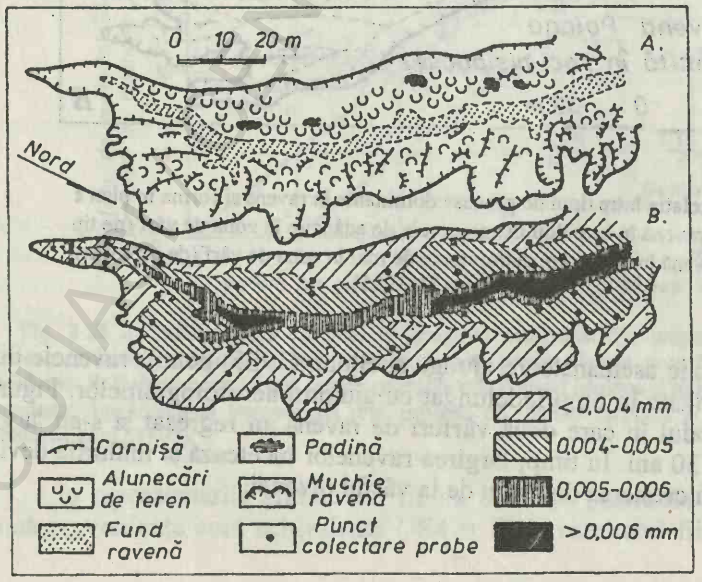


Fig. 8.31. Relația între repartiția proceselor geomorfologice în aria ravenei (*A*) și repartiția granulometrică a depozitelor de suprafață (*B*) (Rădoane et al., 1995).

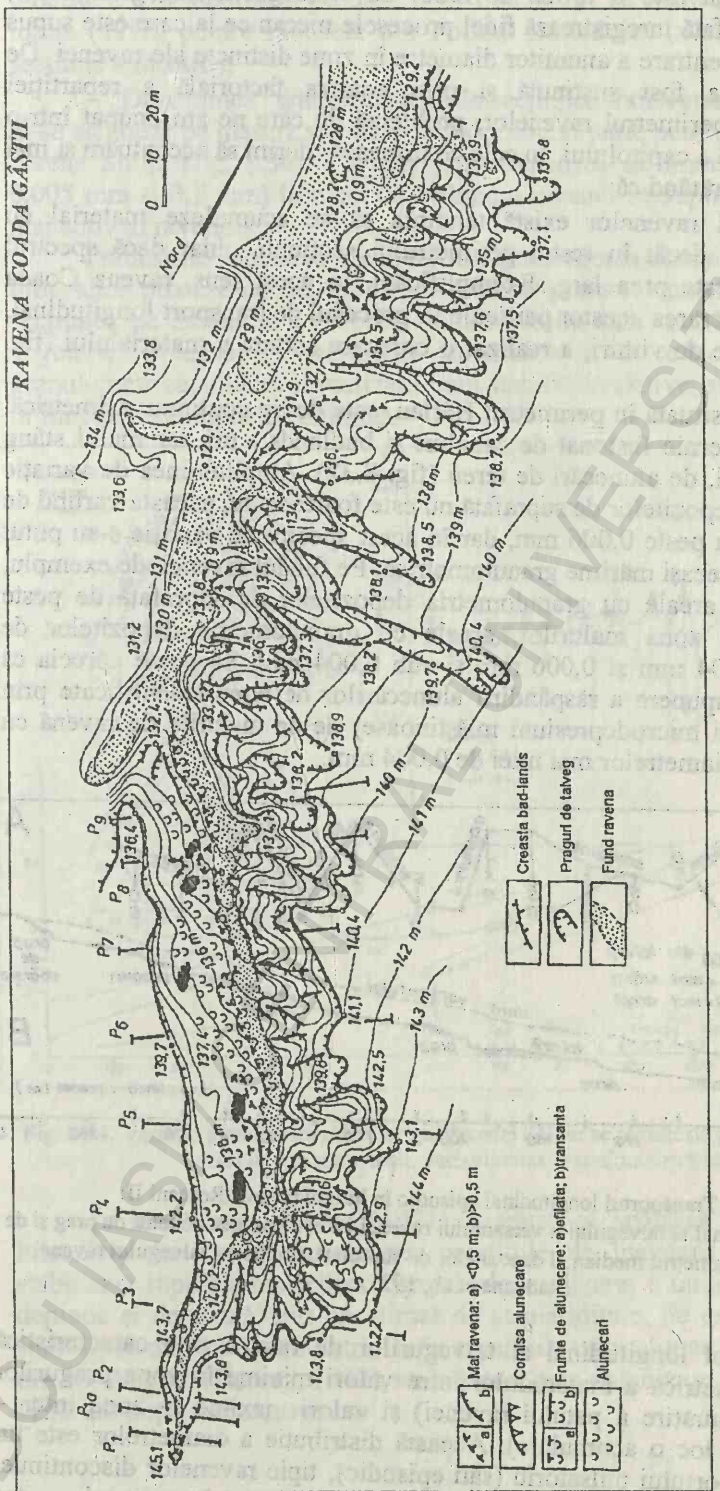


Fig. 8.32. Ravena Coada Gâștii din apropiere de Hârlău. Plan de situație și schiță de hartă geomorfologică.

BCU IAȘI CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

Deşi o ravenă este o formă de relief cu viaţă geomorfologică scurtă, materialul de suprafaţă înregistrează fidel procesele mecanice la care este supus cu tendinţa de concentrare a anumitor diametre în zone distincte ale ravenei. De altfel, observaţia a fost susţinută şi prin analiza factorială a repartiţiei granulometrice în perimetrul ravenelor, problemă de care ne-am ocupat într-o secţiunea anterioară a capitolului. În cele ce urmează dorim să accentuăm şi mai mult acest aspect, arătând că:

– Pe fundul ravenelor există tendinţa să se acumuleze material cu diametre mai mari decât în restul perimetrului secţiunii, chiar dacă spectrul granulometric nu este prea larg. Exemplificăm, în acest sens, ravena Coada Gâştii în care prelucrarea acestor particule în procesul de transport longitudinal, în perioadele scurte de viituri, a realizat o oarecare sortare a materialului (fig. 8.31).

Ravena este situată în perimetrul Hârlău, este de tip continuu, asimetrică, cu malul drept puternic festonat de caneluri şi badlands - uri, iar malul stâng afectat, în principal, de alunecări de teren (fig. 8.32). Amplitudinea de variaţie granulometrică a depozitelor de suprafaţă nu este foarte mare, aceasta variind de la sub 0,004 mm la peste 0,006 mm, dar în acest spectru de variaţie s-au putut selecta areale de aceeaşi mărime granulometrică. Pe fundul ravenei, de exemplu, au fost delimitate areale cu granulometria depozitelor de suprafaţă de peste 0,006 mm, iar în zona malurilor, areale cu granulometria depozitelor de suprafaţă între 0,004 mm şi 0,006 mm şi sub 0,004 mm. Se poate aprecia că există o cvasisuprapunere a răspândirii alunecărilor de teren (identificate prin valuri de pământ şi microdepresiuni mlăştinoase) de pe malurile de ravenă cu aceea a prezenţei diametrelor mai mici de 0,004 mm.

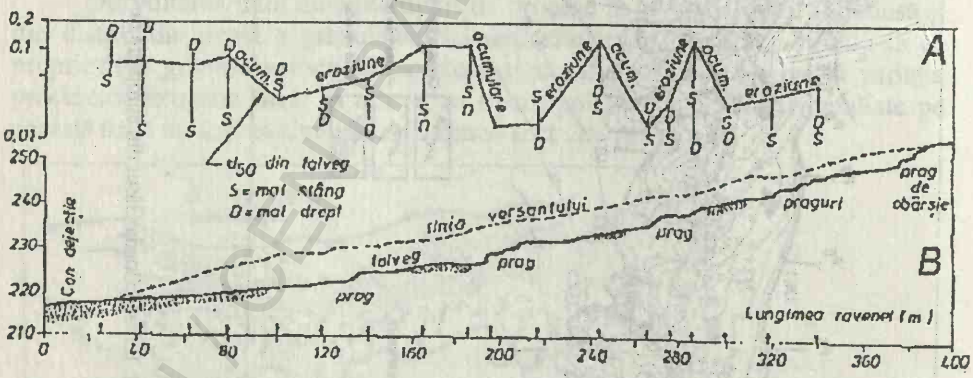


Fig. 8.33. Transportul longitudinal episodic în lungul ravenei Roşcani II:
A – Profilul longitudinal al talvegului şi versantului ravenei cu evidenţierea zonelor de prag şi de acumulare; *B* – Diametrul median al depozitelor de suprafaţă din lungul talvegului ravenei (Rădoane et al., 1995).

– În profilul longitudinal al talvegurilor de ravenă este caracteristică oscilaţia granulometrică a materialului între valori minime în zona pragurilor (unde are loc o curăţire a patului ravenei) şi valori maxime în zona inter – praguri (unde are loc o acumulare). Această distribuţie a diametrelor este un indicator al transportului pulsatoriu (sau episodic), tipic ravenelor discontinue, iar exemplul dat în figura 8.33 considerăm că este sugestiv. Mecanismul acestor

procese a fost identificat pe baza unor măsurători de mare acuratețe și de către Ioniță (1998) pentru ravenele din Podișul Bârladului (a se vedea următoarea secțiune a lucrării);

– „Dezordinea" granulometrică în secțiunea transversală a ravenelor tinde să se atenueze pe măsura stabilizării malurilor, situație pentru care exemplificăm ravena Sulița (fig. 8.34). Variația granulometrică de mare amplitudine (între 0,005 mm și 0,1 mm) în zona de obârșie a ravenei se suprapune sectorului cel mai activ al ravenei.

Prăbușirile succesive ale malurilor și retragerea obârșiei nu lasă prea mult timp altor procese de mal pentru a relua și prelucra materialul dislocat. Spre secțiunea de închidere a ravenei, unde malurile sunt mai bine stabilizate prin vegetație, procesul de solificare determină și o reducere a variabilității granulometrice, indiciu al realizării unei stabilități relative, stabilitate care este și în funcție de compoziția chimică.

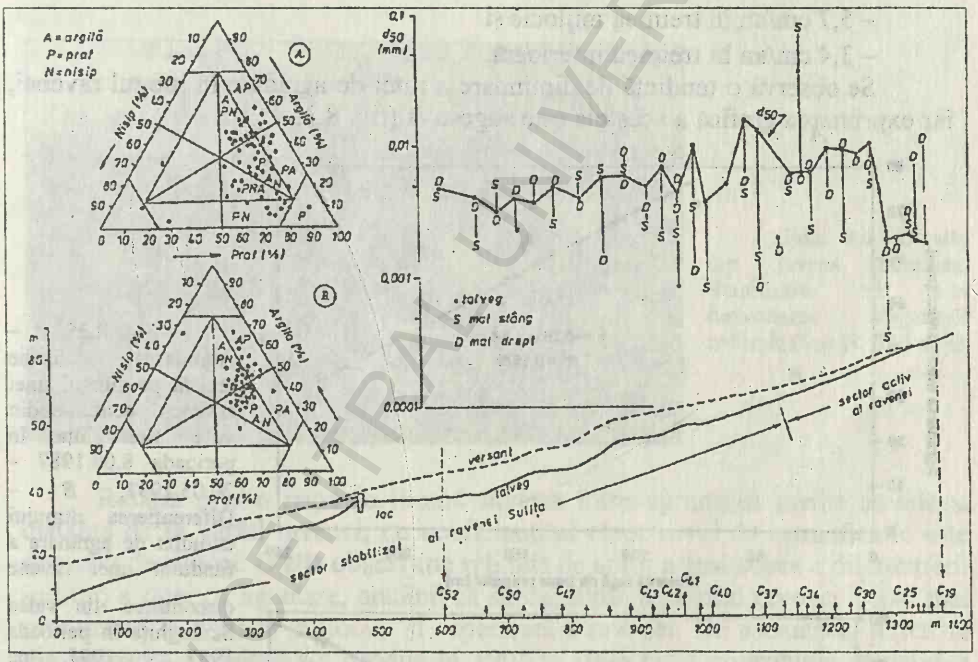


Fig. 8.34. Variația granulometrică în lungul ravenei Sulița: se manifestă tendința ca pe măsură ce malul devine mai stabil, variabilitatea granulometrică să scadă.

În acest sens, Heede (1971) a arătat că spălarea sodiului din sol și înlocuirea lui cu calciu creează condițiile de instalare a vegetației și de stabilizare rapidă a malurilor. Timpul de realizare a unui asemenea echilibru depinde și de climă. Într-un climat de semiariditate, de exemplu, procesul de stabilizare durează cca 20 ani, iar în condițiile unui climat umed al unei ravene din *NV* Angliei (Harvey, 1992), stabilizarea prin colonizarea vegetației a început la 55 ani după inițierea ravenei.

8.3.4. *Rolul proceselor de agradare în evoluția ravenelor*

Unele dintre cele mai pertinente observații asupra acestui proces au fost realizate grație cercetărilor lui Ioniță (1998) asupra ravenelor discontinue din Podișul Bârladului. Pentru calcularea ritmului de colmatare pe asemenea formațiuni au fost folosite măsurătorile pe repere din metal în mai multe secțiuni transversale ale ravenelor din valea Scrânghița. Sistemul de ravene a fost monitorizat timp de 10 ani (1987 - 1997) prin măsurători nivelmetrice, succesive, după evenimente importante; de asemenea, în momentul inițial, s-au făcut foraje pentru determinarea grosimii maxime a aluviunilor existente și pentru estimarea secțiunii colmatate anterior.

Rezultatele obținute indică o rată de agradare a fundului ravenei, diferențiată pentru ravena nr. 4, funcție de lungimea ei, astfel:

– 7,5 cm/an spre treimea superioară a ravenei

– 5,7 cm/an în treimea mijlocie și

– 3,4 cm/an în treimea inferioară.

Se observă o tendință de diminuare a ratei de agradare în lungul ravenei, iar exprimarea grafică a acesteia este sugestivă (fig. 8.35*A*).

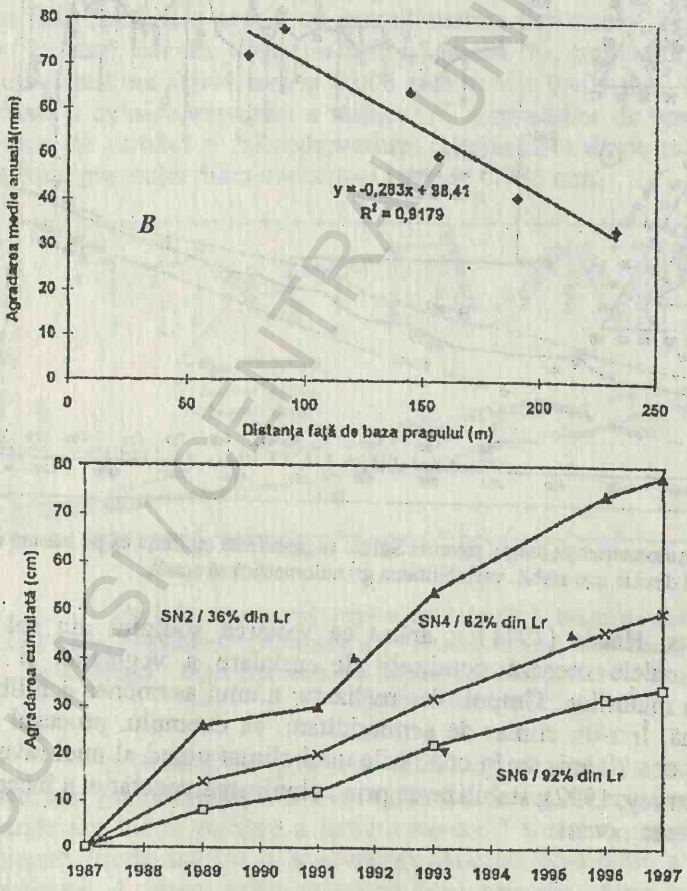


Fig. 8.35. *A* – Agradarea medie anuală pe fundul unei ravene discontinue din valea Scrânghița, în perioada 8.08.1987 – 20.05.1997; *B* – Diferențierea ritmului cumulat de agradare a fundului unei ravene discontinue din valea Scrânghița în perioada 1987 - 1997, pe secțiuni reprezentative (Ioniță, 1998).

BCU IAȘI / CENTRU UNIVERSITAR

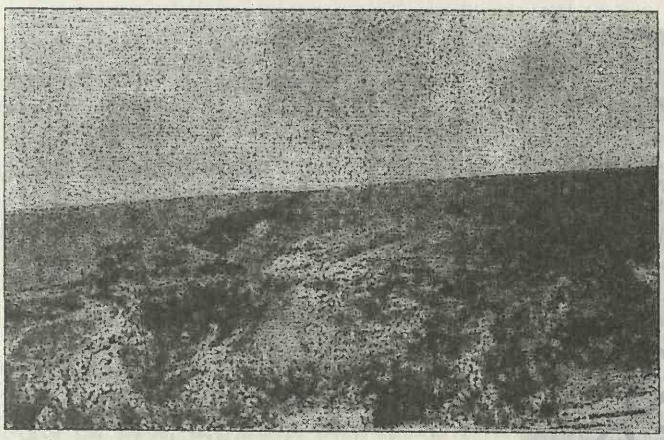


Foto. 8.5. Ravena Secărești, lângă Tg. Frumos (foto. N. Rădoane).

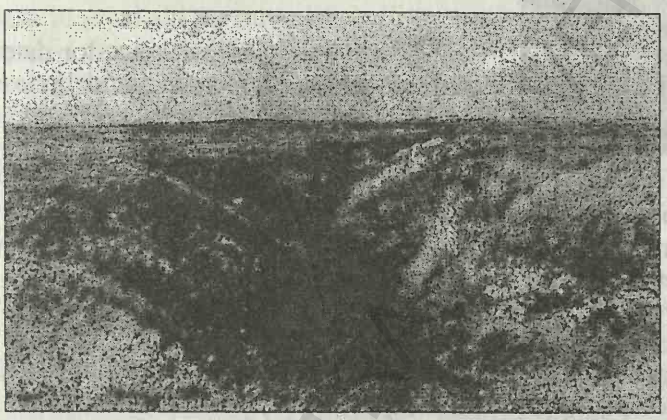


Foto 8.6. Detaliu din ravena Secărești. Stabilizarea ei prin dezvoltarea vegetației naturale (foto N. Rădoane)

Relația este o regresie liniară inversă între agradarea medie anuală și distanța de la vârful ravenei, cu coeficienți al căror nivel de semnificație este deosebit de ridicat. O altă observație reținută de autor a fost aceea a diferențierii în timp a ratei de agradare, arătând că supraînălțarea patului ravenei a fost mai pronunțată în treimea mijlocie și superioară a ravenei. De asemenea, jumătate din valoarea agradării s-a produs în 1993 și 1996 cu o contribuție decisivă a îngheț - dezghețului (fig. 8.35*B*) dar și a unor evenimente pluviometrice de excepție (de exemplu, ploile torențiale din mai 1988) care au provocat o adâncire temporară în aluviunile depuse anterior.

Concluzia autorului, privind rezultatele monitorizării acumulării în ravene are în vedere ponderea suprafeței secțiunii colmatate în raport cu secțiunea erodată. Astfel, pentru ravenele cercetate, secțiunea colmatată cu aluviuni ocupă 32 - 37%, iar secțiunea actuală (utilă), 63 - 68%. Pe această bază se apreciază că în „bilanțul longitudinal" al ravenelor amintite, „aluvionarul" ocupă o treime, iar „erozionalul" două treimi. Această observație a fost susținută și prin măsurători neconvenționale, respectiv, metoda reperelor radioactive. Se introduce, astfel, în literatura științifică, după părerea autorului, „cea mai bună informație disponibilă astăzi pentru estimarea directă a ritmului de agradare a fundului ravenelor discontinue" (p. 20).

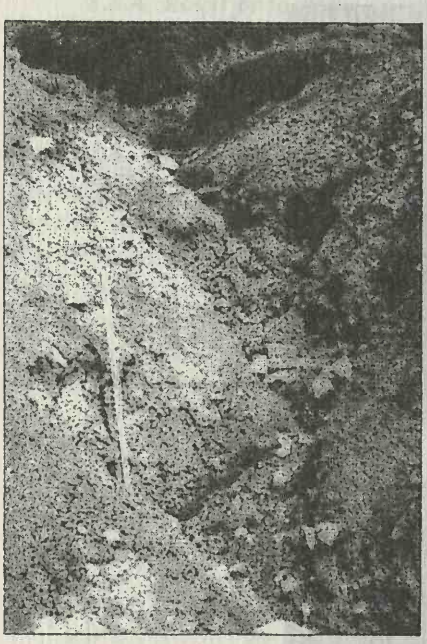


Foto. 8.7. Evidențierea fenomenului de meandrare în sezonul cald a talvegului unei ravene din bazinul r. Pângarați (foto N. Rădoane).

Fără îndoială, calitatea acestor date de măsurare se regăsește în calitatea modelului de evoluție a ravenelor; de exemplu, în cazul ravenelor studiate de Ioniță (1998), s-a evidențiat, prin aceste măsurători, *caracterul pulsatoriu, bifazic, de încărcare -descărcare a curenților lichizi concentrați,* asemănător, dealtfel, cu transportul longitudinal în albiile aluviale. Aceasta reflectă sincronismul și alternanța proceselor de degradare și agradare în cadrul ravenelor discontinue, ceea ce îl determină pe autor să concluzioneze că abordarea stadială a evoluției ravenelor nu este relevantă. După părerea noastră, situația prezentată de autor nu neagă evoluția stadială a ravenelor, ci o implică ca pe un proces normal prin care ravenele trec dintr-un stadiu în altul. Problema capătă rezolvare dacă procesul geomorfologic este abordat în relație cu timpul geomorfologic în concepția lui Schumm.

8.3.5. *Chimismul depozitelor de ravenă și procesele geomorfologice*

Dintre parametrii geochimici, de interes pentru studiul ravenelor, am ales pe cei ce pot indica rata de stabilitate a depozitelor, și anume, procentul de sodiu adsorbit (*PSA*), conductibilitatea electrică (*CE*) și sărurile dizolvate în soluția solului (*SS*) (Bucureșteanu, Rădoane, 1991). Rata de instabilitate a depozitelor depinde de relația între formula capacității de schimb cationic și apa de infiltrație; în cazul solurilor cu conținut mare de argilă, instabilitatea este dată de modificarea acestora prin îmbogățirea în sodiu la suprafața agregatelor de argilă. Ionul cel mai activ în acest proces este *sodiul*, iar procesul poate fi prezentat schematic astfel:

$$Sol - Ca, Mg + 2\ NaCl = Sol\ Na_2 + CaCl_2\ (MgCl_2)$$
$$Sol - Ca, Mg + Na_2SO_4 + Sol - Na_2 + CaSO_4\ (Mg\ SO_4)$$
$$Sol - Ca, Mg + Na_2CO_3 = Sol - Na_2 + CaCO_3\ (Mg\ CO_3)$$

Rezultatul este aşadar, alcalinizarea reacţiei solului până la un pH peste 9,0 şi acumularea în sol a compuşilor cu solubilitate mică ($CaSO_4$, $MgCO_3$) şi a compuşilor practic insolubili ($CaCO_3$).

Efectul cel mai important, care explică modificările în secţiunea transversală a ravenei, este dispersia argilei atunci când sodiul adsorbit depăşeşte 10% din *T* (capacitatea de schimb cationic). Relaţia după care se calculează acest procent este:

$$\text{Procent de sodiu adsorbit } (PSA) = (Na^{+}/T) \times 100$$

şi care indică, de fapt, procentul ionilor monovalenţi de Na^{+} (care au înlocuit ionii bivalenţi de de Mg^{++} şi Ca^{++}) din capacitatea de schimb cationic, *T*. Peste pragul de 10%, depozitele sunt afectate fizic când reacţionează cu apa şi din această cauză *PSA* mai este utilizat şi ca *indice de erodabilitate*. Aceleaşi efecte descriu şi ceilalţi parametri amintiţi, respectiv, conductibilitatea electrică (*CE*) şi sărurile dizolvate în soluţia solului (*SS*). Cu cât valoarea lor este mai mare de un prag stabilit la 2000 micromho/cm pentru *CE* şi 0,6 - 1% pentru *SS*, cu atât terenul este potenţial dispus mai mult la modificări în contact cu apa.

Cercetările asupra chimismului depozitelor de ravenă au fost efectuate în colaborare cu Maria Bucureşteanu şi au avut în vedere, în principal, ravenele Gurguiata Mare şi Gurguiata Mică, iar în secundar, ravenele Sulița (la nord) şi Roşcani (la sud). Rezultatele sunt sintetizate mai jos.

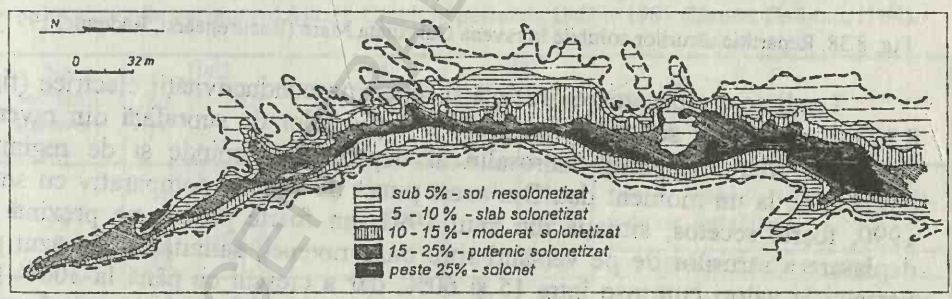


Fig. 8.36. Procentul de sodiu adsorbit în depozitele de suprafaţă din ravena Gurguiata Mare (Bucureşteanu, Rădoane, 1991).

Repartiţia procentului de sodiu adsorbit în depozitele de la suprafaţă din ravena Gurguiata Mare (fig. 8.36) arată o relaţie strânsă cu morfologia ravenei. Intensităţile de salinizare se dispun pe fâşii longitudinale de la muchia ravenei unde *PSA* este sub 5%, la fundul ravenei unde fruntea alunecărilor ajunge până în axul ravenei şi unde *PSA* depăşeşte 25%. Dacă luăm în considerare pragul de 10% a *PSA* peste care instabilitatea depozitelor creşte, se poate aprecia că pe circa 90% din suprafaţa ravenei, depozitele se pot pune în mişcare în contact cu apa. Alunecările de teren, care s-au dezvoltat, în special, pe malul stâng, reprezintă un efect posibil al acestui fenomen, întrucât extinderea lor coincide aproape perfect cu repartiţia *PSA* în suprafaţa ravenei.

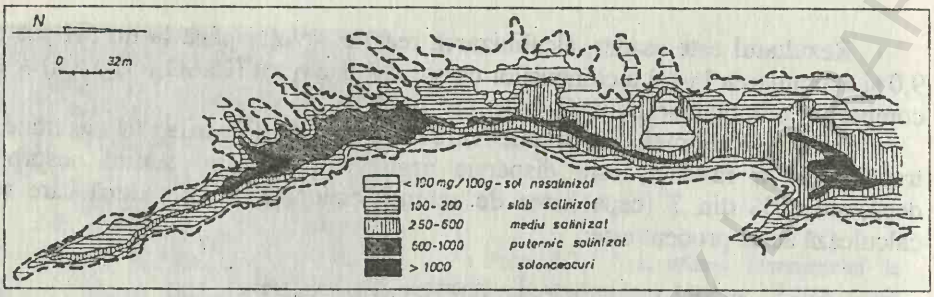


Fig. 8.37. Repartiția sărurilor solubile determinate din conductivitatea electrică a depozitelor de suprafață din ravena Gurguiata Mare în anul 1990 (Bucureșteanu, Rădoane, 1991).

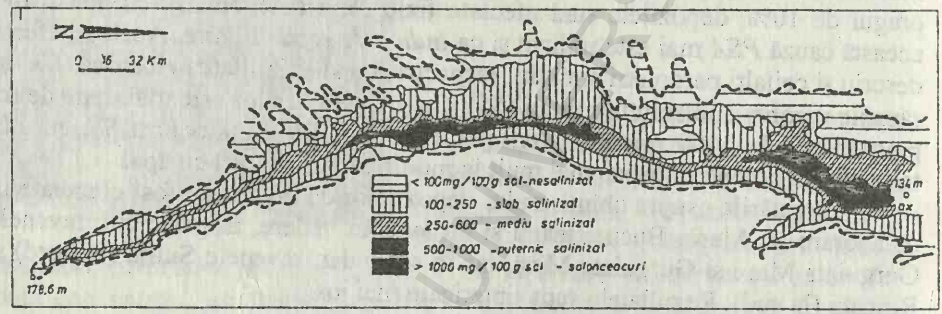


Fig. 8.38. Repartiția sărurilor solubile în ravena Gurguiata Mare (Bucureșteanu, Rădoane, 1991).

Tendințe asemănătoare prezintă și repartiția conductivității electrice (fig. 8.37) și a sărurilor solubile (fig. 8.38) a depozitelor de suprafață din ravena Gurguiata Mare. Regimul hidrosalin al depozitelor depinde și de regimul climatic de la un moment dat. Din acest punct de vedere, comparativ cu anul 1990, foarte secetos, situația din anul 1991, an foarte ploios, ne prezintă o deplasare a sărurilor de pe versanți spre baza ravenei; salinitatea a scăzut pe versanți la valori cuprinse între 15 și 60%, dar a crescut cu până la 300% pe fundul ravenei, în zonele de sub izvoarele de coastă și la confluența ramificațiilor principale, unde depozitele prezintă culoare albă.

Din acest punct de vedere, cele mai active puncte ale zonei sunt situate în vârfurile ravenei mici afluente (ravena Gurguiata Mică) și pe malul stâng al ravenei mari, la 220 m și, respectiv, 520 m de vârf; în rest, ravena este stabilizată și cu depozite percolate, aflate în echilibru din punct de vedere chimic și gravitațional.

Relativ la geochimia depozitelor din ravena Sulița (Botoșani), datorită unor intercalații nisipoase între argilele siltitice, permeabilitatea crește și depozitele sunt percolate de săruri pe întreaga geometrie a ravenei. Formula cationică predominantă este de Ca – Mg – Na – K în 66,6% din cazuri, urmată de Na – Ca – Mg – K; Ca – Na – Mg – K și Mg – Ca – Na – K în procente egale de câte 11,1%, ultimele trei fiind specifice proceselor de percolare în

desfășurare sau influențelor unor ape freatice magnezian - sodice ce s-ar afla în contact cu coloizii din argile.

Depozitele din secțiunile analizate sunt nesalinizate în special pe malul stâng, slab salinizate în restul ravenei și mediu salinizate în câteva secțiuni din partea superioară a ravenei unde sodiul reprezintă 77%, respectiv, 50 - 66% din cationii solubili. Tot aici *PSA* atinge valori de 10 – 13% din capacitatea totală de schimb cationic. Și aceste rezultate dovedesc că ravena Sulița este activă doar în zona de vârf, în partea inferioară gradul de stabilizare a malurilor fiind ridicat.

Soluția depozitelor din ravena Roșcani (Bârlad) este foarte săracă în săruri solubile: 3 - 45 mg/100 g sol în secțiunile superioare și 12 - 78 mg/100 g sol în secțiunile mijlocii. Formele ionice generale sunt: Ca – Mg – Na – K; SO_4 – HCO_3 – Cl. În cazul acestei ravene, procesele geomorfologice sunt favorizate de natura slab coezivă a rocii.

În concluzie, cunoașterea chimismului depozitelor poate oferi indicii importante asupra stabilizării ravenei, în special, a malurilor. Heede (1971) a examinat mai multe ravene din California și a găsit că există o relație intrinsecă între eroziune, chimia solului și stabilitatea malurilor. Având în observație un timp mai lung maluri active de ravenă, autorul a observat că odată sodiul spălat din depozite și înlocuit fiind cu calciu, a permis instalarea vegetației și stabilizarea malurilor. Procesul de stabilizare pe cale naturală a durat 19 ani (între 1962 - 1981) în condițiile unui climat de semiariditate.

Tabel 8.9. **Evoluția procentului de sodiu schimbabil în depozitele din malurile ravenelor localizate în perimetrul Alkali Creek în perioada 1962 și 1981 (Heede, DeBano, 1984).**

Nr. secțiunii transversale	1962		1965		1981		Observații
	Nr. pr.	PSS	Nr. pr.	PSS	Nr. pr.	PSS	
19	16	<1,0			79	2,3	Inițial, maluri stabile, devenite, ulterior, instabile
	17	<1,0					
	18	<1,0			78	0,3	Agradare pe fundul ravenei
20	13	4,4			80	0,1	Inițial, maluri instabile, devenite, ulterior,stabile
	14	2,0					
	15	1,8			81	0,2	Agradare pe fundul ravenei
18	45	18,2	11	14,0	69	14,0	Maluri marnoase
			49	18,4	70	27,8	
			46	21,1			
	46	1,2			62	3,2	Aluviuni provenite din malurile marnoase

Roca parentală din perimetrul Alkali Creek este formată din marne și gresii friabile depozitate discontinuu în spațiu. Măsurătorile asupra procentului de sodiu schimbabil în timp (tabel 8.9) au arătat că există o legătură între prezența ionilor de sodiu și stabilitatea malurilor. De exemplu, în secțiunea transversală 20, cantitatea de Na^+ a scăzut de la 4,4 în 1962 la 0,1 în 1981, timp în care malul a devenit mai stabil și s-a acoperit de vegetație. Dimpotrivă, în

secțiunea 19, procentul de sodiu a crescut de la valori de <1,0 la 3,3 (aceasta prin interceptarea unor lentile bogate în sodiu) și malul a devenit instabil.

Revenind la ravenele studiate de noi se poate avansa ideea că *stabilitatea malurilor se produce dinspre muchie spre patul ravenei, așa cum indică chimia depozitelor de suprafață, dar și tipul și densitatea vegetației instalate.* Mai mult chiar, unii autori (Heede, DeBano, 1984) recomandă tratamente chimice pentru stabilizarea ravenelor, practică care se utilizează în SUA încă din 1930.

8.4. Morfologia profilului longitudinal

Variația formei profilului longitudinal este unul dintre indicatorii care, potrivit lui Heede (1974), poate exprima stadiul de evoluție a unei ravene. Demonstrația acestei observații s-a făcut prin examinarea geometriei hidraulice a unui număr de 17 ravene din bazinul Alkali Creek pe flacul vestic al Munților Stâncoși în statul Colorado, S.U.A. Pentru fiecare din aceste ravene au fost determinate următoarele variabile:

– numărul de ordin al rețelei de ravene în sistem Strahler;

– investigații asupra formei profilului longitudinal;

– determinarea factorului de formă, respectiv, raportul dintre adâncimea maximă și cea medie a secțiunii transversale a ravenei. Acest din urmă indicator a fost propus de autor pentru identificarea stadiului de evoluție a ravenei.

Urmărind metodologia propusă de Heede (1974), am abordat studiul profilelor longitudinale și am identificat „pragul de eficiență hidraulică" a ravenelor în condițiile Podișului Moldovei.

Pentru aceasta s-au reprezentat grafic cotele din talvegul și malul ravenei în funcție de lungimea acesteia, de la punctul de confluență spre cel de obârșie pentru ravenele studiate din Podișul Moldovei (expresia grafică a unora dintre ele este redată în fig. 3.1). Observarea lor arată că:

– există diferențe în ceea ce privește morfologia versantului în care sunt adâncite ravenele (convexă în cazul ravenelor Secărești; un versant cu înclinare foarte redusă în cazul ravenelor Gurguiata Mare și Giurgeni; un versant cu procese intense de mișcare în masă pentru ravena Ungureanu);

– forma profilelor longitudinale ale ravenelor este, în general, convexă, ușor concavă în sectoarele de confluență. Aceasta înseamnă că ravenele studiate (conform lui Graf, 1977) se află în stadiul de tinerețe (vigoare geomorfologică);

– prezența râpelor de obârșie și a numeroaselor praguri în talveg arată că sunt ravene discontinue (în accepțiunea lui Leopold, Miller, 1956). Bălteanu și Taloescu (1978) au propus o clasificare a înălțimii pragurilor pe baza genezei și poziției lor în cadrul profilului de ravenă. Ei au efectuat măsurători asupra a 800 de rigole, ogașe și ravene (situate pe diferite unități de relief cu condiții variate). Cercetările întreprinse au pus în evidență existența a cel puțin patru tipuri de praguri, pe care le-am recunoscut și noi în cercetările noastre:

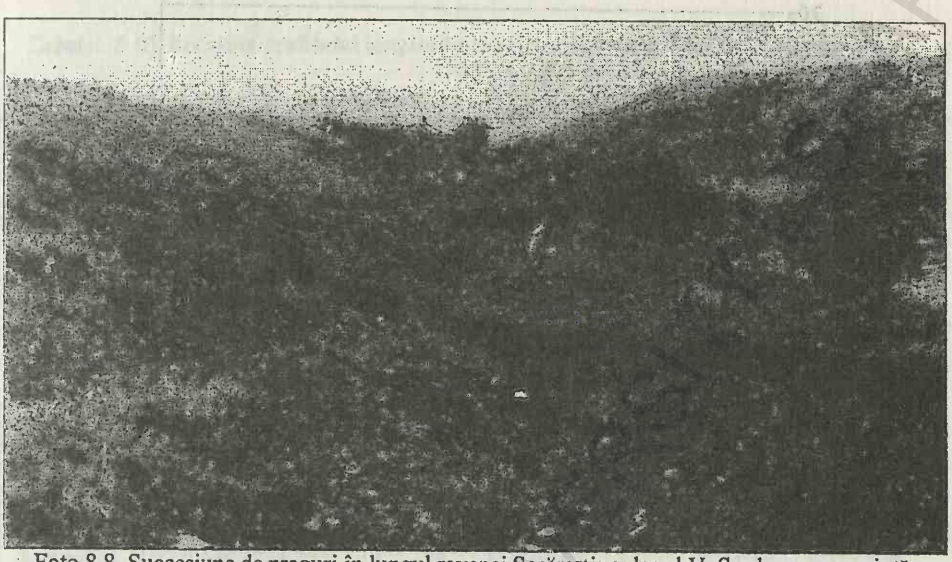


Foto 8.8. Succesiune de praguri în lungul ravenei Secărești; colegul V. Surdeanu reprezintă etalonul pentru aprecierea înălțimii pragurilor (foto N. Rădoane).

1) praguri a căror formare este datorată în exclusivitate particularităților hidrodinamice ale curenților puternic încărcați cu material care au proprietatea de a se descărca ritmic; aceste praguri au dimensiuni reduse (0,10 - 0,30 m) și se întâlnesc pe toate formațiunile torențiale;
2) praguri formate prin unirea unor ravene succesive într-o formațiune unică; dimensiunea lor este de 0,5 - 3,0 m, dar în pietrișurile de Cândești pot să depășească 5 m;
3) praguri de reactivare, caracteristice ravenelor dezvoltate pe fundul văilor și care pun în evidență reluarea viguroasă a proceselor de eroziune liniară și pătrunderea lor regresivă;
4) praguri litologice ce subliniază rocile mai dure de pe fundul ravenei; se formează prin cumularea retragerii succesive a pragurilor din prima categorie. În ceea ce ne privește am avut în vedere litologia depozitelor din care sunt alcătuite pragurile. Conform relației din figura 8.39, înălțimea pragurilor (H_p) depinde în mare măsură de procentul silt - argilă (*PSA*) (particule <0,02 mm) al depozitelor lor. Un conținut mare de silt - argilă (de exemplu >70%) determină praguri de talveg cu înălțimi mai mici de 50 cm. Cu cât crește conținutul de nisip cu atât crește înălțimea pragurilor (până la peste 1 m). Relația empirică obținută de noi:

$$\log H_p = 10051 - 0{,}00165\ PSA$$
$$r = 0{,}899 \qquad n = 37$$

confirmă tendința observată.

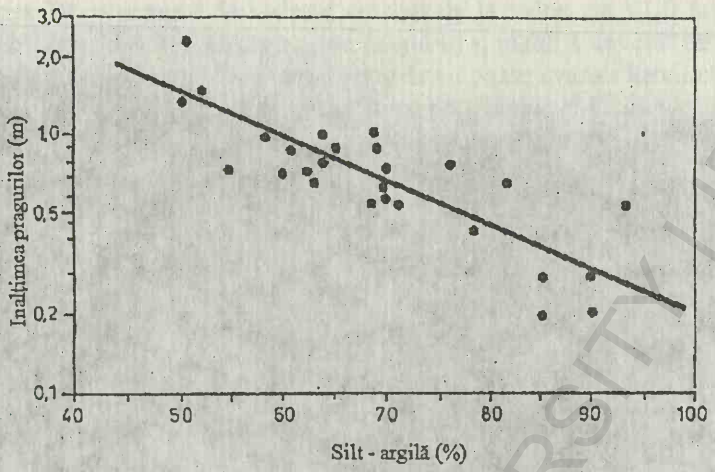


Fig. 8.39. Relația dintre înălțimea pragurilor și procentul de silt - argilă a depozitelor din care sunt alcătuite.

8.4.1. *Modelarea matematică a formei profilului longitudinal*

În studiul evoluției ravenelor, ca și în cel al râurilor, a fost utilizată ipoteza ergodică (Strahler, 1952; Heede, 1974; Ichim, Rădoane, 1983), care precizează că un set de observații în timp are aceleași caracteristici cu un set de observații în spațiu, respectiv timpul poate fi substituit cu spațiul. Plecând de la acest postulat, se poate realiza o comparație între ravene și râuri, primele reprezentând stadiul de tinerețe, ultimele stadiul de maturitate.

Comparația se face la nivelul profilelor longitudinale. Pentru aceasta s-a calculat relația dintre înălțimea (H, m) și lungimea (L, m) ravenei utilizând trei tipuri de funcții (tabelul 8.10.), respectiv, ecuația dreptei de regresie, ecuația exponențială și ecuația funcție de putere. Funcțiile liniară și de putere explică în cea mai mare măsură (peste 80%) forma profilului longitudinal al ravenei (fig. 8.40).

Se știe că ecuațiile exponențiale sunt unele dintre cele care caracterizează forma profilelor longitudinale ale râurilor deoarece ele ajustează concavitatea din partea superioară a acestora. În cazul ravenelor, aceste ecuații explică doar 46 - 70% din forma profilelor longitudinale. Faptul se datorează profilului aproape drept pe care îl au ravenele, uneori cu o ușoară concavitate spre punctul de confluență.

În timp, concavitatea de la baza ravenei va migra spre amonte, prin retragerea râpei de obârșie și a pragurilor de talveg până la condiția apropierii de forma profilelor de râu (Heede, 1974).

Ponderea concavității în cadrul profilului de ravenă poate indica stadiul ei de evoluție. În cazul nostru, ravenele Giurgeni, Secărești sunt înrtr-un stadiu incipient de evoluție (concavitatea având o pondere de sub 6% din lungimea totală a profilului), în timp ce ravena Ceplenița este într-un stadiu mai avansat de evoluție (concavitatea deține 34%), iar în cazul ravenei Coada Gâștei chiar peste 70%, apropiindu-se de forma profilelor de râu (fig. 8.41).

Tabelul 8.10. **Ecuațiile profilului longitudinal pentru ravenele studiate (Rădoane et al., 1988b)**

Ravena	Ecuația profilului	Număr observații (n)	Coeficient de corelație (r)	Coeficient de determinare (r^2)	Eroare standard de estimație (ESE)
Deleni	$H = -1{,}661+0.1128\ L$	29	0,991	0,983	1,341
	$H = -5{,}69+4{,}512\ \ln L$		0,682	0,465	0,682
	$\log H = -1{,}129+1{,}048 \log L$		0,993	0,986	0,083
Coada Gâștii	$H = -1{,}322+0.0809\ L$	22	0,988	0,977	0,818
	$H = -1{,}769+2{,}146\ \ln L$		0,840	0,706	0,435
	$\log H = -14{,}308+1{,}043 \log L$		0,977	0,956	0,894
Secărești I	$H = 12{,}966+0.1015\ L$	51	0,910	0,829	5,894
	$H = -6{,}96+8{,}7302\ \ln L$		0,764	0,584	9,213
	$\log H = -0{,}562+0{,}917 \log L$		0,956	0,915	0,159
Secărești II	$H = 7{,}073+0.107\ L$	56	0,971	0,943	4,08
	$H = -18{,}15+10{,}17\ \ln L$		0,855	0,730	8,859
	$\log H = -0{,}952+1{,}045 \log L$		0,968	0,938	0,167
Cepleniţa	$H = 0{,}1035+0.1123\ L$	60	0,983	0,966	2,999
	$H = -20{,}2+9{,}76\ \ln L$		0,766	0,597	0,416
	$\log H = -1{,}365+1{,}158 \log L$		0,969	0,938	0,161
Gurguiata	$H = 0{,}774+0{,}0828\ L$	34	0,990	0,980	0,767
	$H = -2{,}54+2{,}49\ \ln L$		0,779	0,608	3,434
	$\log H = -1{,}123+1{,}041 \log L$		0,982	0,965	0,124
Ungureanu	$H = 1{,}023+0.113\ L$	48	0,978	0,957	1,724
	$H = -7{,}94+5{,}038\ \ln L$		0,767	0,588	5,327
	$\log H = -1{,}128+1{,}097 \log L$		0,984	0,968	0,109
Giurgeni	$H = 1{,}962+0.0815\ L$	61	0,994	0,988	0,1092
	$H = -11{,}168+6{,}249\ \ln L$		0,858	0,736	5,585
	$\log H = -0{,}867+0{,}934 \log L$		0,992	0,983	0,078

8.4.2. *Factorul de formă și eficiența hidraulică în dezvoltarea ravenelor*

Factorul de formă (raportul adâncimii maxime la adâncimea medie) în concepția lui Heede (1974) reprezintă un alt parametru important a cărui valoare capătă semnificație prin comparație cu albiile de râu. Factorul de formă a ravenelor, în general, este mai mare de 2, ceea ce exprimă o secțiune transversală cu un perimetru „udat" larg, care, la rândul lui indică o ineficiența hidraulică a ravenelor. Dimpotrivă, râurile în echilibru dinamic au un factor mediu de formă mai mic de 2 și, astfel, o mare eficiență hidraulică. Valoarea de 2 a acestui factor a fost definită de Heede (1974) drept *prag de eficiență hidraulică.*

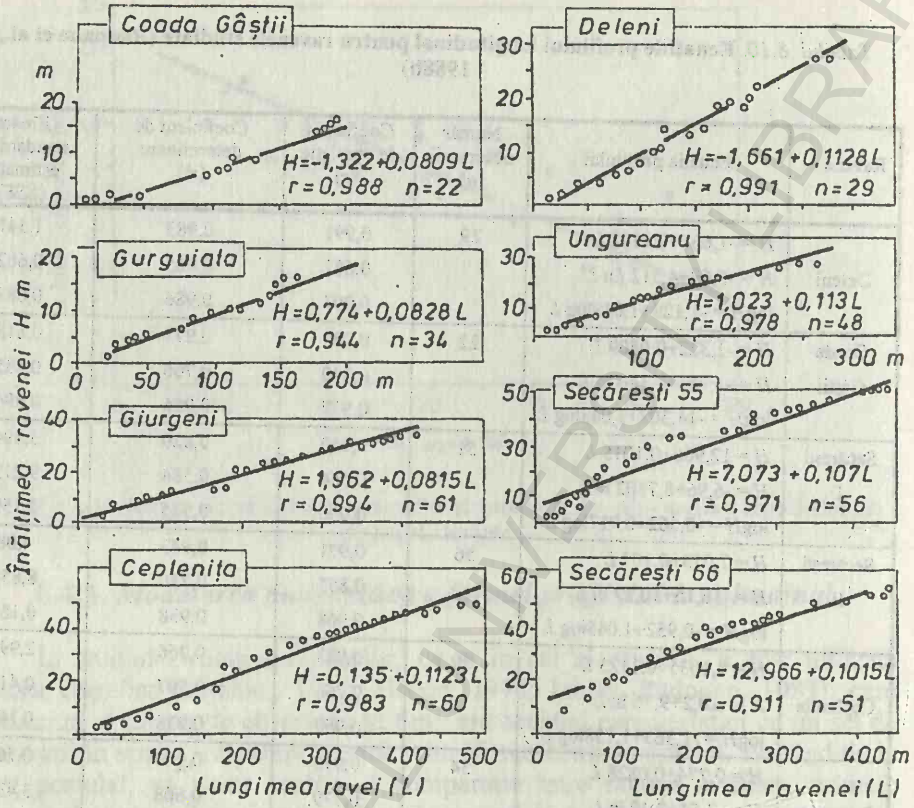


Fig. 8.40. Ecuațiile profilului longitudinal pentru diferite ravene (Rădoane et al.,1988b).

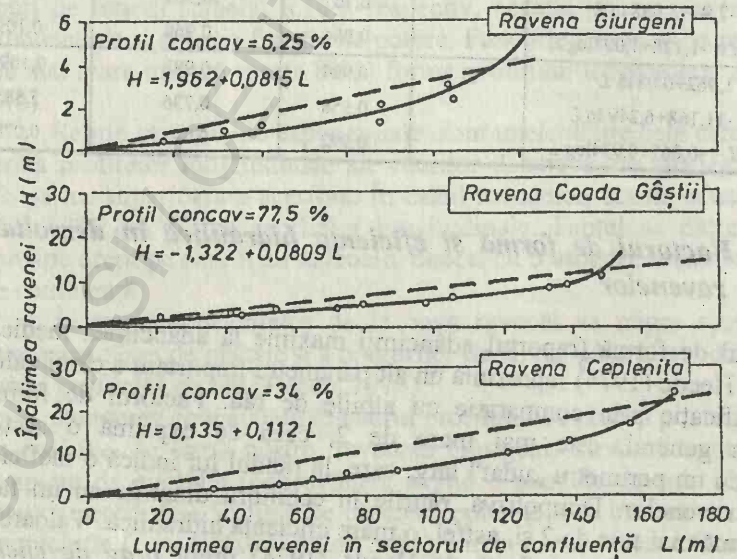


Fig. 8.41. Evidențierea concavității în partea inferioară a profilului ravenelor (Rădoane et al., 1988b).

BCU CLUJ CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

Pentru a realiza această comparație am determinat factorul formă pentru 133 secțiuni transversale a 8 ravene din jumătatea de nord a Podișului Moldovei. Reprezentarea grafică a valorilor factorului de formă funcție de distanța de la vârful ravenei (fig. 8.42) indică o ușoară tendință de creștere a acestuia, deși coeficientul de corelație este slab ($r = 0{,}392$; $n = 133$).

Relația a fost utilizată pentru a evidenția poziția medie a secțiunilor transversale ale ravenelor în funcție de „pragul de eficiență hidraulică".

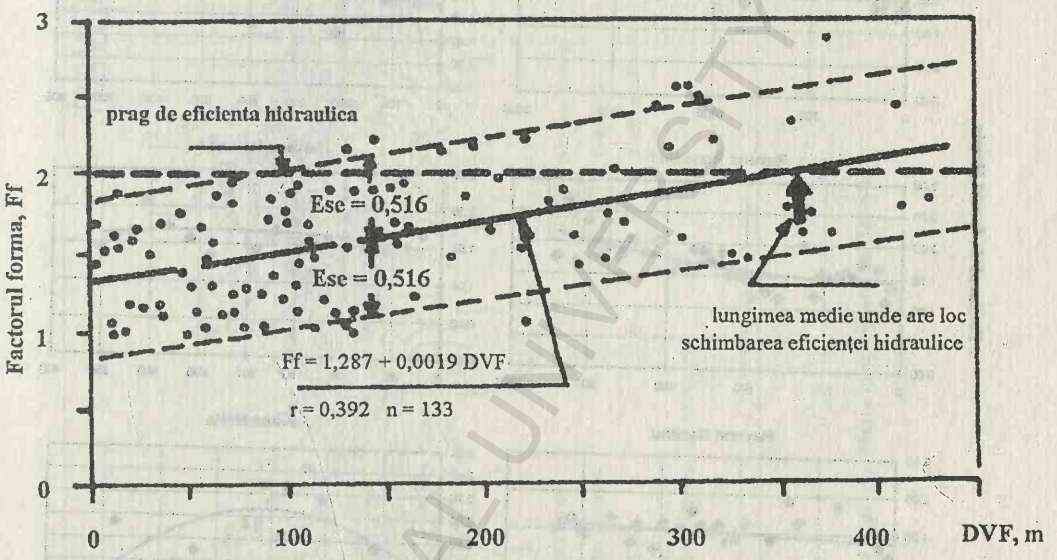


Fig. 8.42. Relația dintre factorul de formă și distanța de la vârful ravenei (Rădoane et al., 1988b).

Constatăm, așadar, că în cea mai mare parte, ravenele studiate sunt într-un stadiu incipient de dezvoltare. Cu cât lungimea ravenei crește, există tendința de mărire a factorului de formă și de reducere a eficienței hidraulice a albiei. Punctul de intersecție a dreptei de regresie cu linia ce reprezintă pragul eficienței hidraulice se realizează, în cazul nostru, la o *distanță medie de 350 m de vârful ravenei* (*valoarea minimă fiind de circa 100 m*), *ceea ce indică sectorul de unde ravenele, în condițiile Podișului Moldovenesc* (*partea de nord*) *trec într-un stadiu matur de evoluție și chiar spre stingere.* Din rațiuni practice, poziția pragului de eficiență hidraulică trebuie determinată pentru fiecare ravenă în parte, deoarece marja de variație în cazul celor 133 de secțiuni analizate de noi este foarte mare. Iată, de exemplu, în figura 8.43 sunt exemplificate câteva grafice cu variația factorului de formă pentru o parte din ravenele studiate de noi și constatăm că tendința nu este similară la toate ravenele. De altfel și Heede (1974) recomandă precauție în interpretarea acestui indicator.

De exemplu, ravena Meria (Berești) are tendință parabolică clară în variația factorului de formă și aproape toate secțiunile transversale dovedesc o eficiență hidraulică foarte mare. Este o ravenă activă, cu o cădere mare, cu mai multe praguri de obârșie de 2 - 3 m, iar cel principal are 4 m adâncime, ceea ce-i

conferă caracterul lobat al formei în plan (fig. 8.44). Această ravenă este în plină dezvoltare, tinerețea ei fiind dovedită și prin puterea mare de evacuare a depozitelor prăbușite din maluri. Într-o situație asemănătoare se află și ravena Poiana I, deși tendința parabolică este mult diminuată.

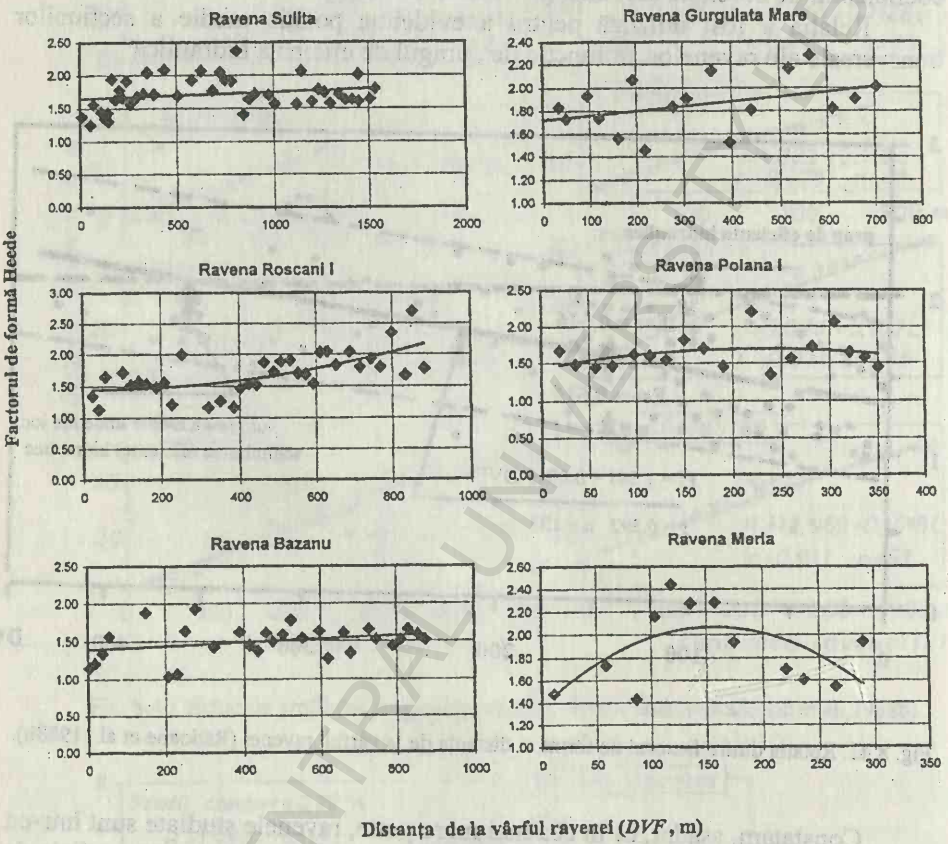


Fig. 8.43. Variația factorului de formă (Heede) în lungul unor ravene din Podișul Moldovei.

În schimb, celelalte ravene mult mai dezvoltate manifestă o tendință crescătoare a factorului de formă, deci o scădere a eficienței hidraulice spre gura ravenei, o diminuare a puterii de evacuare a depozitelor erodate din zona obârșiei. Aceste depozite sunt depuse pe fundul ravenei, frontul de colmatare fiind mai mare spre gura ravenei și efilându-se spre amonte.

Continuând cercetările în aceeași idee, Ioniță (1998) stabilește pentru ravenele din împrejurimile Stațiunii Perieni un nou indicator de eficacitate hidrologică prin raportarea secțiunii actuale (S_a) la secțiunea colmatată (S_c).

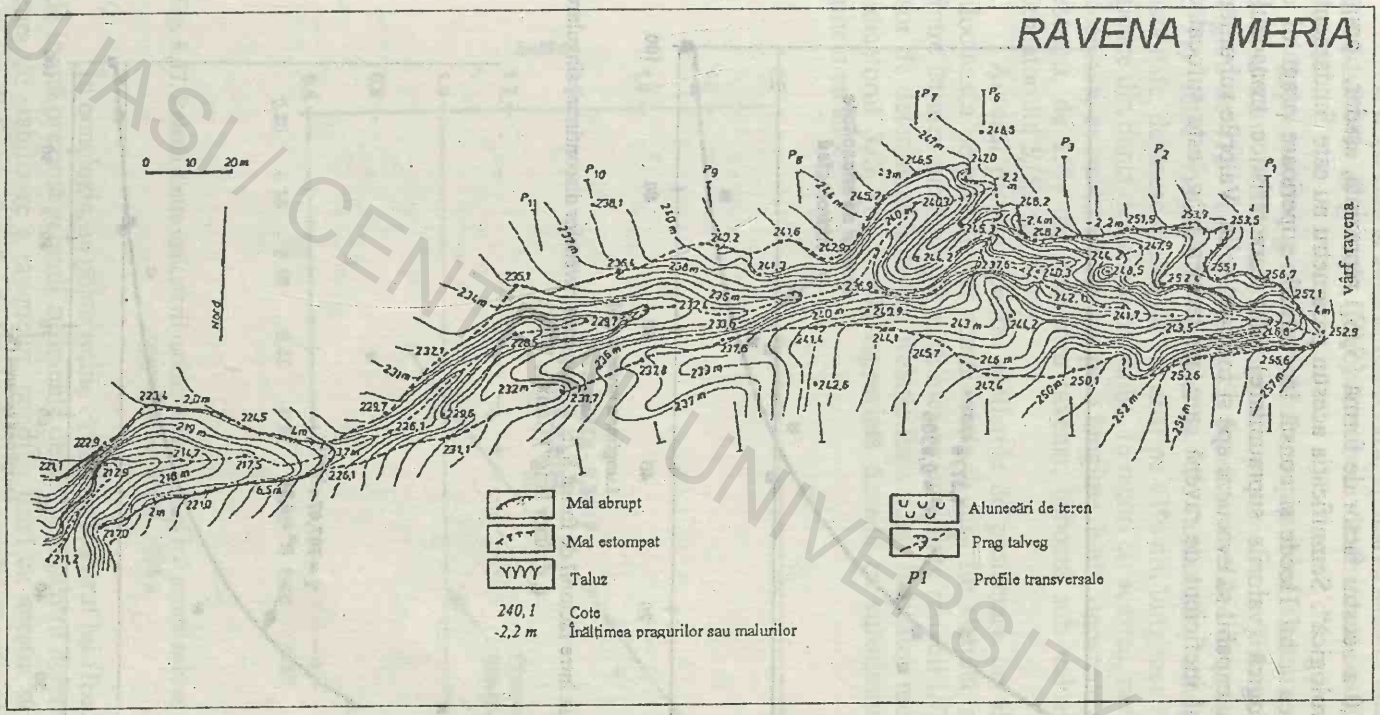


Fig. 8.44. Ravena Meria în apropiere de Bereşti.

BCU IASI / CENTRUL UNIVERSITY LIBRARY

Valoarea 1,0 a acestui factor de formă (S_a/S_c) reprezintă, așadar, „pragul de eficacitate hidrologică". Semnificația acestui parametru nu este fundamental diferită față de cea a lui Heede și constă în: valorile superioare pragului de eficacitate hidrologică (valorile supraunitare) sunt caracteristice tronsonului eficient de ravenă, capabil să evacueze apă și material solid. Valorile subunitare definesc tronsonul ineficient de ravenă care, pe termen lung, este sufocat de aluviuni.

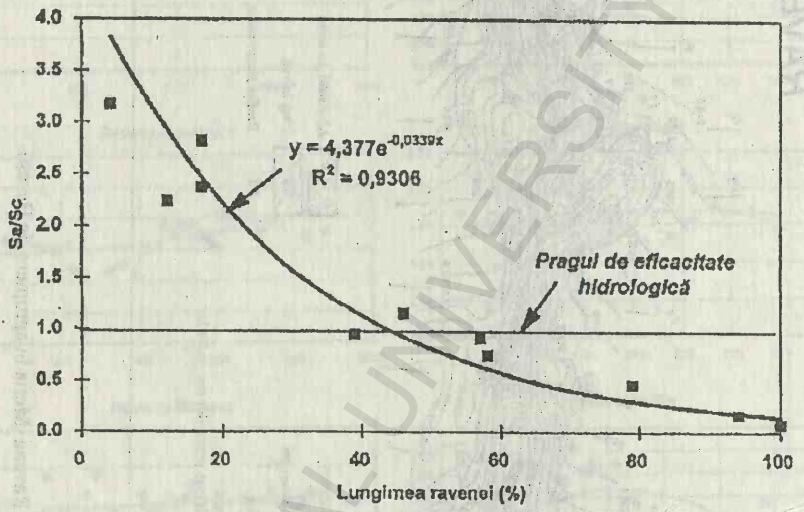


Fig. 8.45. Relația între factorul de formă S_a/S_c și lungimea ravenelor discontinue, singulare („difuzor lung") (Ioniță, 1998).

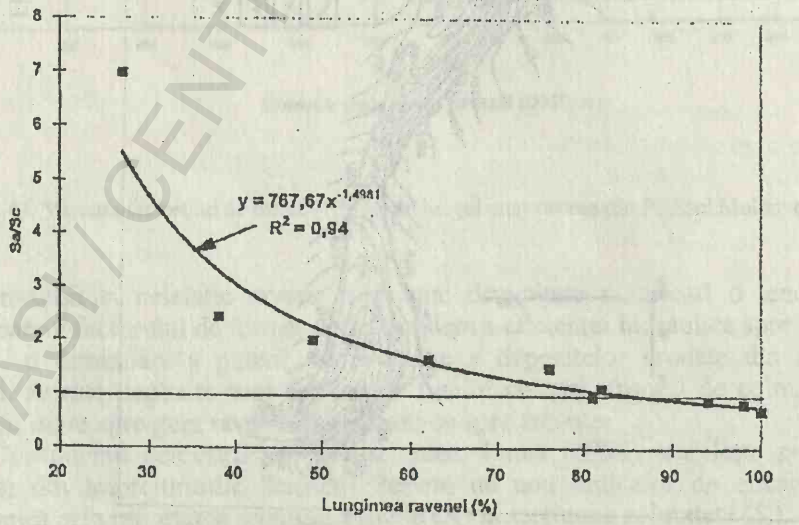


Fig. 8.46. Relația între factorul de formă S_a/S_c și lungimea ravenelor discontinue, singulare („difuzor scurt") (Ioniță, 1998).

BCU IAȘI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

Așa după cum și autorul realizează, aplicarea acestui indicator este extrem de costisitoare și greoaie, întrucât trebuie determinată secțiunea colmatată a ravenei.

Reprezentarea grafică a valorilor rapoartelor aferente unui număr de 11 secțiuni transversale totale, determinate pe trei ravene discontinue, singulare, cu lungimi de 112 - 120 m (fig. 8.45) prezintă o relație inversă, puternică (R^2 = 0,931) între variabilele considerate. Pe ansamblu, ravenele discontinue, distanțate, depășesc pragul de 1,0 doar pe 43% din lungimea lor, în rest ele sunt eficace din punct de vedere hidraulic. În raport cu acestea, ravenele discontinue, succesive, evazate sunt eficace pe o lungime dublă, deoarece numai un segment restrâns, de 15% din lungimea ravenei, coboară sub valoarea limită (1,0) a indicatorului S_a/S_c (fig. 8.46).

Autorul propune pentru atelierele de proiectare un alt raport care să-l înlocuiască pe primul, dar semnificația să nu-i fie alterată, și anume, raportul dintre lățimea fundului (b) și lățimea ravenei între muchii (B), să fie extrem de ușor de determinat în teren. Relația între acest indicator morfometric (b/B) și indicatorul S_a/S_c (fig. 8.47) reprezintă dovada că substitutul propus poate fi aplicat cu succes.

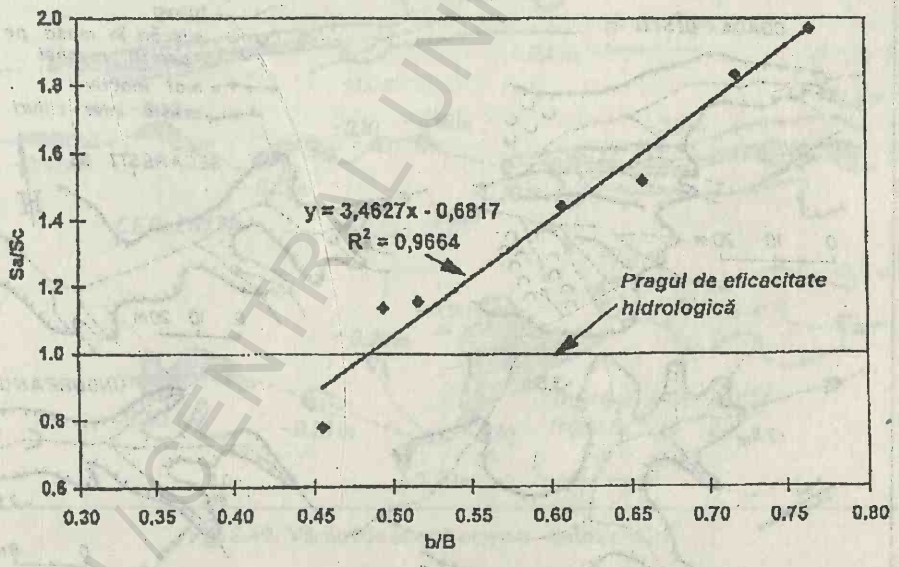


Fig. 8.47. Relația dintre indicatorii morfometrici S_a/S_c și b/B pentru ravene discontinue, succesive, convergente (Ioniță, 1998).

În concluzie, se poate reține că atât indicatorul lui Heede, cât și cel propus de Ioniță prezintă garanții suficiente de aplicare pentru determinarea secțiunii în curs de stabilizare a ravenelor, condiția fiind ca aceștia să fie aplicați pentru ravene distincte, funcție de tipologia lor, discontinue sau continue, iar dacă sunt discontinue, să se separe cele cu „difuzor lung" sau singulare de cele în succesiune sau cu „difuzor scurt".

8.5. Morfologia și dinamica vârfurilor de ravenă

Una din caracteristicile de bază prin care se definesc ravenele discontinue o reprezintă vârful de ravenă, respectiv, abruptul prin care începe ravena. Iar ca dovadă a importanței care i se acordă în evaluarea dinamicii, a tipului de evoluție și a condițiilor de formare și dezvoltare a ravenelor este însuși faptul că, aproape fără excepție, toate modelele de predicție au în vedere acest fenomen morfologic: *vârful de ravenă.*

În acest context, ne propunem și noi să aducem în discuție câteva aspecte cu atât mai mult cu cât pentru analiza geomorfologică a retragerii versanților, cunoașterea fenomenului de ravenare este foarte important sau la fel de important ca și pentru practica controlului eroziunii și a producției de aluviuni. Aceste aspecte privesc: inițierea ravenelor, rata retragerii ravenelor și tipurile morfologice de vârf de ravenă.

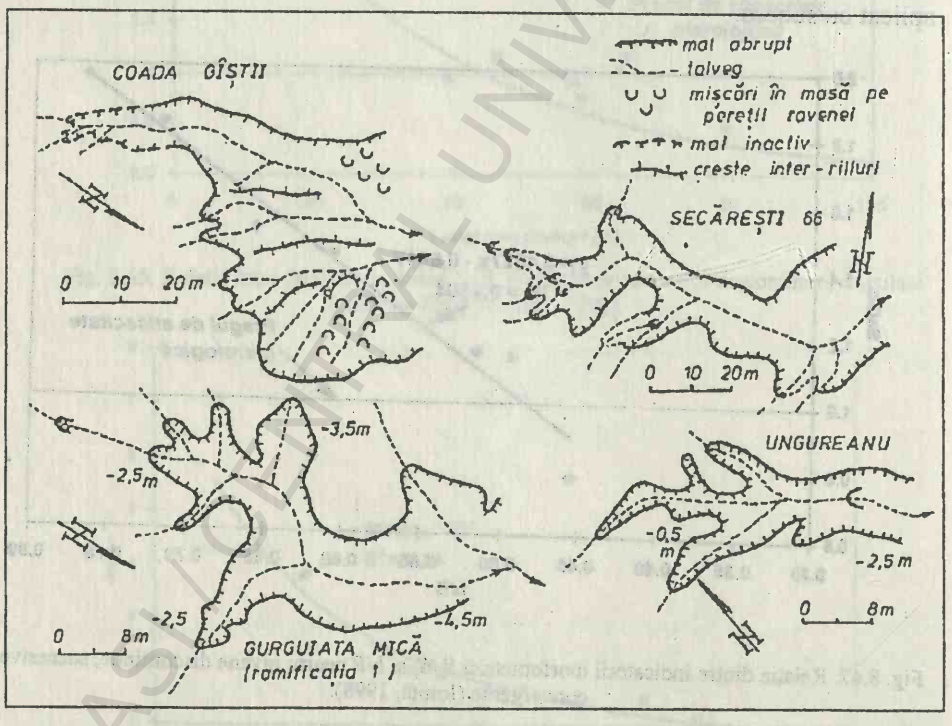


Fig. 8.48. Vârfuri de ravenă de eroziune normală.

Inițierea ravenării ca proces în sine se poate desfășura ca o continuare a așa -numitelor „ravene efemere", definite în prima parte a lucrării, sau prin interrelațiile dintre sufoziune și eroziunea prin curgere concetrată. Concentrarea curgerii în ambele cazuri este controlată de concavități uneori miniaturale. În aceste puncte, în condiții litologice favorabile, pot apare (ca efect al feedbackului pozitiv: curgere → eroziune) micile abrupturi. Odată format un

„abrupt" capăt de ravenă, acesta se deplasează spre amonte. Extinderea ravenelor discontinue nu se face întotdeauna prin aceste mici abrupturi de eroziune, ci și prin asociere cu procesele de sufoziune.

Distingem, astfel, din punct de vedere morfogenetic, două tipuri de vârfuri de ravenă:

- de eroziune normală;
- erozivo - sufozionale.

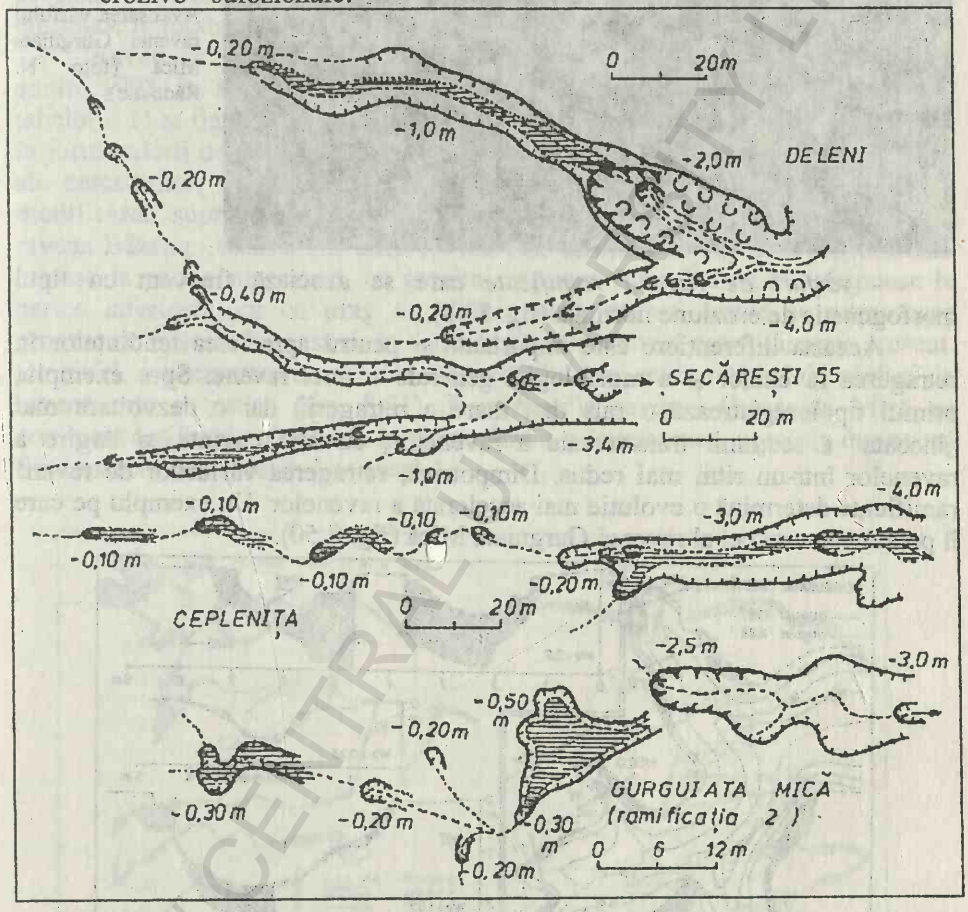


Fig. 8.49. Vârfuri de ravenă erozivo - sufozionale.

Diferența dintre ele este ușor de sesizat, întrucât vârfurile de ravenă erozivo -sufozionale sunt „continuate" spre partea superioară a versantului, cu o succesiune de excavații, neintegrate încă ravenei (fig. 8.49). Sunt specifice în cazul nostru pentru depozitele argiloase, cu un bogat conținut în sodiu.

Ca formă, având în vedere proiecția în plan a vârfurilor de ravenă, există o mai mare diversitate. Două tipuri au însă o frecvență mai mare:

- *vârfuri de ravenă simple*, de forma unei lance, care se aseamănă, de regulă, cu tipul morfogenetic erozivo – sufozional;

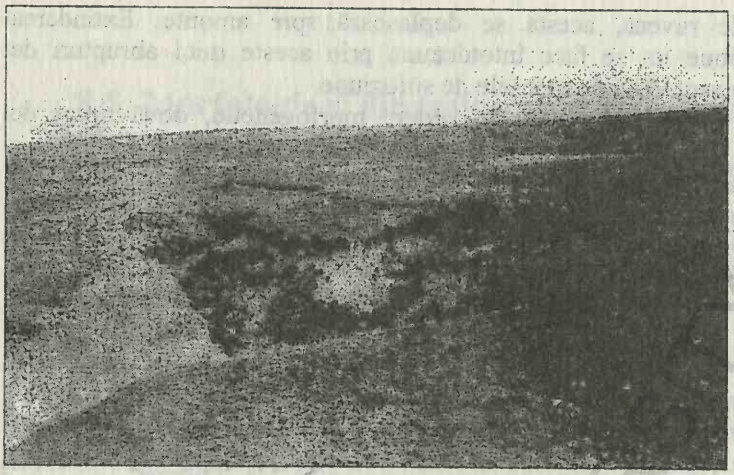


Foto 8.9. Avansarea vârfului ravenei Gurguiata Mică (foto N. Rădoane).

- *vârfuri de ravenă ramificate* care se asociază frecvent cu tipul morfogenetic de eroziune normală (fig. 8.48).

Această diferențiere este importantă și pentru aprecierea tendințelor în retragerea ravenelor și a morfologiei generale a unei ravene. Spre exemplu, primul tip înregistrează o rată mai mare a retragerii, dar o dezvoltare mai „înceată" a secțiunii transversale a ravenelor; cu alte cuvinte, o lărgire a ravenelor într-un ritm mai redus. Dimpotrivă, retragerea vârfurilor de ravenă ramificate determină o evoluție mai accelerată a ravenelor. Un exemplu pe care îl prezentăm este cel al ravenei Gurguiata Mică (fig. 8.50).

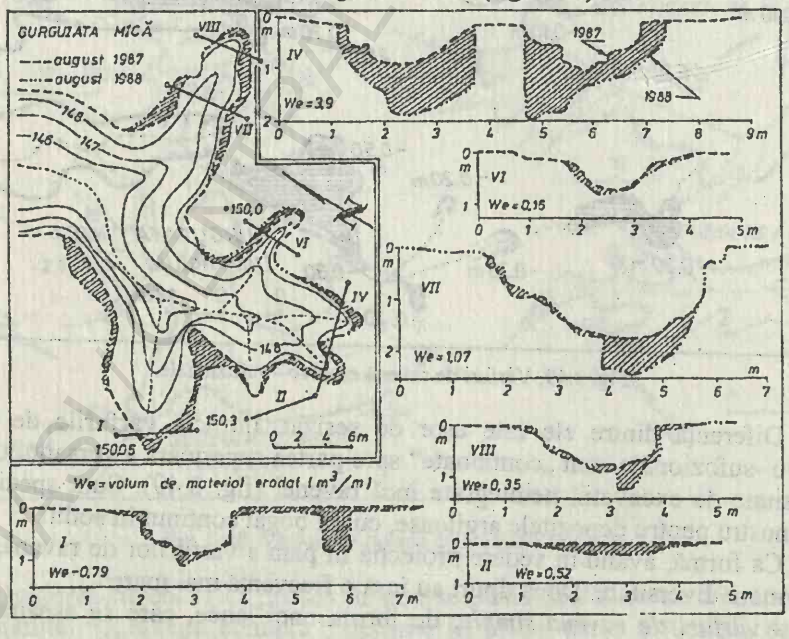


Fig. 8.50. Modificarea vârfului ramificat al ravenei Gurguiata Mică.

Se observă, astfel, că într-un an care a fost normal din punct de vedere al precipitațiilor, volumul de material îndepărtat a ajuns în unele secțiuni la

aproape 4 m³/m.l. Procesele de dislocare sunt, în principal, surpări și prăbușiri datorită subminării bazei abruptului prin acțiunea erozivă a apei. În timp, ramificația din vârful ravenei Gurguiata Mică (fig. 8.48) evoluează independent, ajungând să consume micile areale interfluviale și să înglobeze aceste suprafețe în categoria ravenei. Uneori, evoluția este mult mai rapidă prin lărgirea vârfurilor, încât determină izolarea unor mici resturi din suprafața versantului, acestea constituindu-se asemenea unor piramide de pământ, care în timp vor fi eliminate în totalitate.

Ravenele eșantion din Podișul Moldovei au fost remăsurate în toamna anului 1998, iar rezultatele măsurătorilor la vârful acestora sunt înregistrate în tabelul 8.11 și fig. 8.51. Ratele medii de avansare a vârfurilor de ravenă au fost în jurul valorii de 1 m/an și s-au menținut tendințele observate în primele faze ale cercetărilor. O direfențiere mai importantă s-a înregistrat în ce privește modificarea suprafeței active a ravenelor, creșterea cea mai mare având-o ravena Bâzanu. Această din urmă ravenă este adâncită în depozite predominant lutoase la partea superioară, cu grosimi cuprinse între 3-8 m, și nisipoase la partea inferioară, cu un prag de obârșie înalt, maluri active cu numeroase procese de mișcare în masă și, în consecință, un potențial morfodinamic crescut. De altfel, o prezentare comparativă a evoluției mai multor tipuri de vârfuri de ravenă este sugestivă (fig. 8.51). Ramificațiile ravenei Gurguiata Mică au continuat tendințele observate în prima fază a măsurătorilor, acest tip de ravenă fiind extrem de distructivă ca areal.

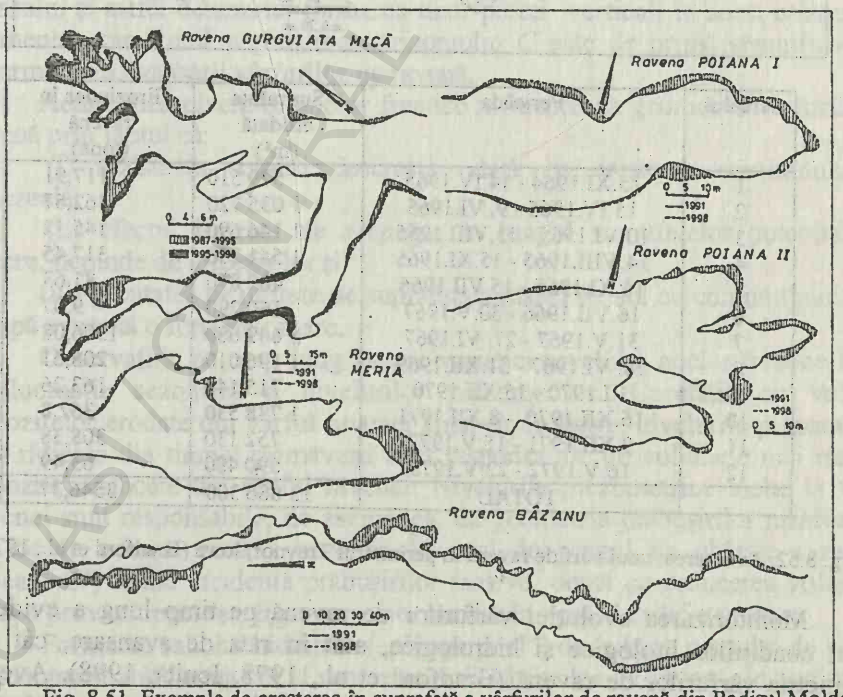
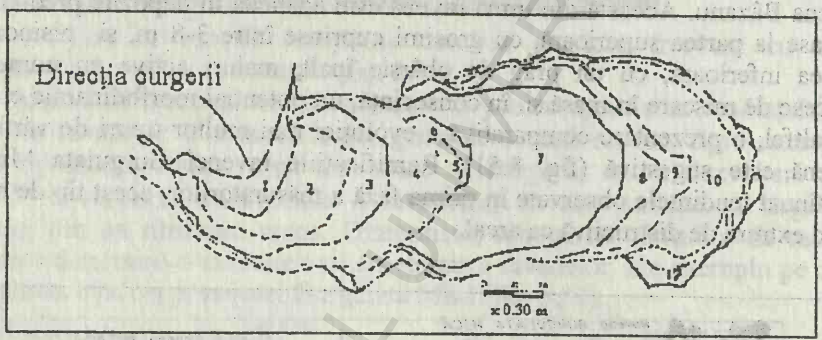


Fig. 8.51. Exemple de creșterea în suprafață a vârfurilor de ravenă din Podișul Moldovei.

Tabel 8.11. **Ratele creşterii în suprafaţă şi avansarea vârfurilor unor ravene din Podişul Moldovei**

Denumirea ravenei	Anul măsură-torii iniţiale	Anul măsură-torii ulterioare	Suprafaţa iniţială (m²)	Suprafaţa la ultima măsură-toare (m²)	Rata creşterii în suprafaţă (m²)	Rata medie anuală de creştere (m²)	%	Avansarea vârfului (m/an)
Gurguiata	1987	1995	3510	3778	268	33,5	1,27	0,82
Mică	1995	1998	3510	3949	171	57,0	1,62	1,10
Poiana I	1991	1998	2629	2836	207	29,6	1,04	0,86
Poiana II	1991	1998	3614	3868	254	36,3	1,00	1,00
Bâzanu	1991	1998	7784	10003	2219	317,0	4,07	1,00
Meria	1991	1998	3675	3833	158	22,6	0,61	1,10



Arealul	Perioada	Suprafaţa erodată (m²)	Eroziunea în ravenă (tone)
1	15.XI.1964 - 14.IV.1965	579 510	117,91
2	15.IV.1965 - 9. VI.1965	1 035 720	462,57
3	10.VI.1965 - 13.VIII.1965	1 146 690	145,12
4	14.VIII.1965 - 15.XI.1965	1 541 250	317,45
5	16.XI.1965 - 15.VII.1966	480 870	81,63
6	16.VII.1966 - 30.V.1967	160 290	9,07
7	31.V.1967 - 27. VI.1967	3 649 680	1306,08
8	28. VI.1967 - 31.XII.1969	1 196 010	208,61
9	1.I.1970 - 15.XII.1970	715 140	163,26
10	16.XII.1970 - 8.XII.1971	1 738 530	362,8
11	9.XII.1971 - 15.V.1972	752 130	308,38
12	16.V.1972 - 22.V.1973	690 480	63,49
	TOTAL	13 686 300	3546,37

Fig. 8.52. Avansarea unui vârf de ravenă în perimetrul Treynor, Iowa (Bradford et al., 1978).

Monitorizarea evoluţiei vârfurilor de ravenă pe timp lung a evidenţiat rolul condiţiilor litologice şi hidrologice, atât în rata de avansare, cât şi în geometria vârfurilor de ravenă (Bradford et al., 1978; Ioniţă, 1998). Avem în atenţie două exemple deosebit de relevante pentru a discuta aceste aspecte: unul provine din cercetările experimentale din Iowa, SUA pe teren format din depozite groase de loess acumulate peste till - uri (Piest et al., 1975; Bradford et

al., 1978); cel de al doilea, din perimetrul experimental Perieni situat în Podișul Bârladului, depozitele de ravenare fiind formate din argile și nisipuri meoțiene, dar și depozite de versant de tipul deluviilor și coluviilor în bună parte solificate (Ioniță, 1998; Hurjui, 1998).

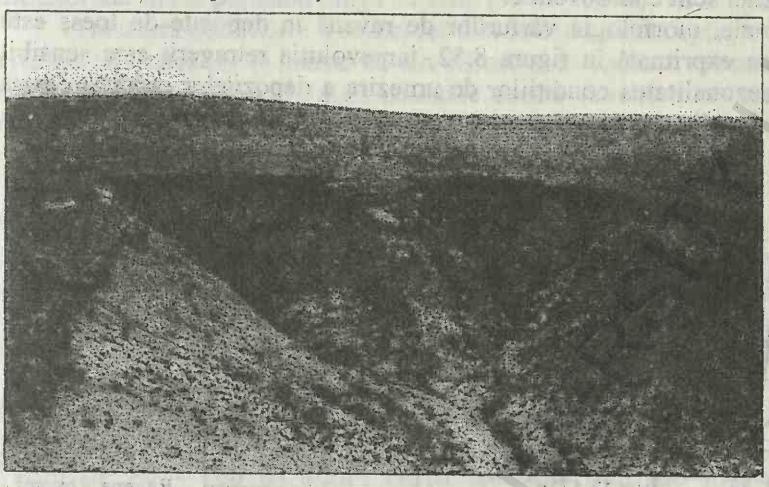


Foto 8.10. Detaliu asupra avansării vârfului ramificat al ravenei Gurguiata Mică (foto N. Rădoane).

Evoluția ravenelor în depozitele de loess (fig. 8.52) a fost puternic influențată de nivelele de sol și de trăsăturile structurale ale acestuia. S-a constatat că rolul carbonatului de calciu este foarte important în cimentarea loessului și astfel determină formarea unor pereți verticali în acest orizont. De asemenea, caracterul și grosimea orizontului *C* este de primă semnificație în determinarea avansării vârfurilor de ravenă.

Adâncimea nivelului apelor freatice influențează geometria vârfurilor de ravenă prin faptul că:

(i) rezistența solului descrește odată cu creșterea conținutului de umezeală;

(ii) efectul forțelor de *seepage*, în lungul suprafețelor potențiale de rupere, depinde de direcția lor și

(iii) greutatea pe unitate de suprafață a masei de sol cu conținut mai mare de apă exercită o forță mai mare.

Observațiile pe timp lung asupra variației nivelului apelor freatice indică o fluctuație sezonieră a nivelurilor piezometrice. Corelația cu volumul depozitelor erodate din vârful ravenei arată că, în parte, nivelurile piezometrice mai ridicate din timpul primăverii sunt responsabile de volumele mai mari de depozite dislocate din vârful ravenei. Nivelurile piezometrice înalte la vârful ravenei sunt responsabile, de asemenea, de geometria prăbușirilor masive care au loc în această zonă a ravenei. În aval de pragul de obârșie a ravenei („headcut") scade incidența prăbușirilor masive, odată cu reducerea volumului de apă provenit prin *seepage*, care este maxim în zona de vârf a ravenei.

Formarea saltului hidraulic („plunge pool") de la baza pragului de obârșie influențează atât forma cât și rata retragerii vârfurilor de ravenă. În vecinătatea obârșiei ravenei, așa cum s-a arătat anterior, apa de prelingere (*seepage*) își face apariția mai sus decât în alte porțiuni ale ravenei, presiunea porilor fiind crescută, adâncimea zonei umede raportată la înălțimea totală a peretelui ravenei

este mai mare, cu toate că forma peretelui este aproape verticală, iar adâncimea ravenei în acest punct este maximă. Deşi salturile hidraulice nu sunt întotdeauna observabile în timpul viiturilor, performanţa lor hidraulică şi efectul asupra geometriei ravenei sunt clar dovedite.

În concluzie, morfologia vârfurilor de ravenă în depozite de loess este apropiată de cea exprimată în figura 8.52, iar evoluţia retragerii este sensibil influenţată de sezonalitatea condiţiilor de umezire a depozitelor, aşa cum arată tabelul anexat figurii.

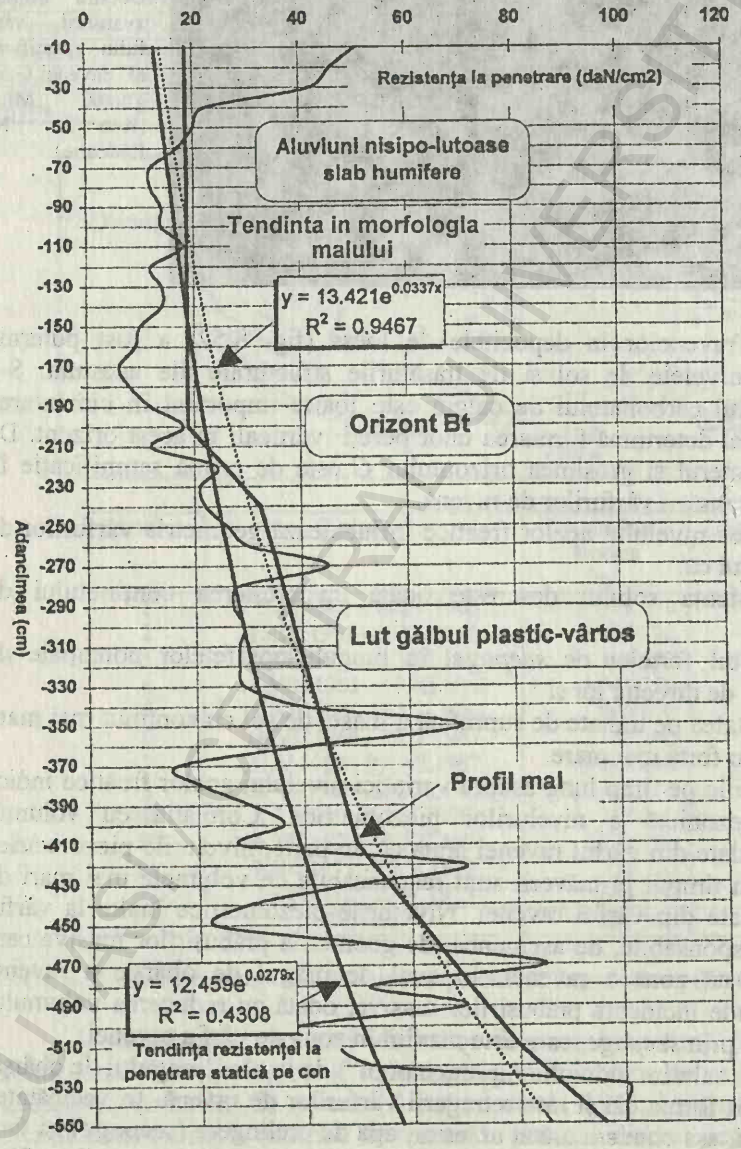


Fig. 8.53 Ravena Roşcani – Scrânghiţa. Relaţia între litologie şi profilul malului de ravenă, evidenţiată de valorile rezistenţei la penetrare statică pe con, măşurate la 31. V. 1996 (Hurjui, 1998)

Cel de al doilea exemplu discutat provine din perimetrul experimantal al Stațiunii Perieni (Ioniță, 1998; Hurjui, 1998), de unde am reținut câteva ilustrații caracteristice. Este vorba de morfologia vârfului de la ravena Roșcani, monitorizat într-o perioadă lungă de timp (1979 - 1996).

Trăsătura definitorie a ravenelor discontinue, în accepția lui Ioniță (1998), este agresivitatea lor în sensul că ele dislocă și evacuează cel mai mult material solid. Materialele în care sunt adâncite aceste ravene sunt în general cu un ridicat conținut de argilă, cu un mare grad de plasticitate și, în consecință, cu o coezivitate crescută, comparativ cu depozitele de loess din exemplul anterior.

Un profil tipic de mal, în zona de obârșie a ravenei Roșcani, este dat în figura 8.53, mal pentru care s-a încercat o corelare a valorilor rezistenței de penetrare pe con cu micromorfologia acestuia. Forma profilului de mal este ușor exponențială; adică de la suprafață și până la o adâncime de 2 m malul cade sub un unghi de 90°, iar rezistența la penetrare este cea mai redusă, sub 20 daN/cm². Litologic, este zona de dezvoltare a orizonturilor de sol, un orizont *A* slab humifer, colmatat cu aluviuni și un orizont B_t bine dezvoltat. Sub această adâncime, forma profilului de mal devine curbată, depozitele fiind formate din luturi argiloase coezive. În consecință, rezistența la penetrare crește până la valori de 80 - 100 daN/cm², curba rezultată fiind de formă exponențială, asemenea celei care descrie forma profilului de mal.

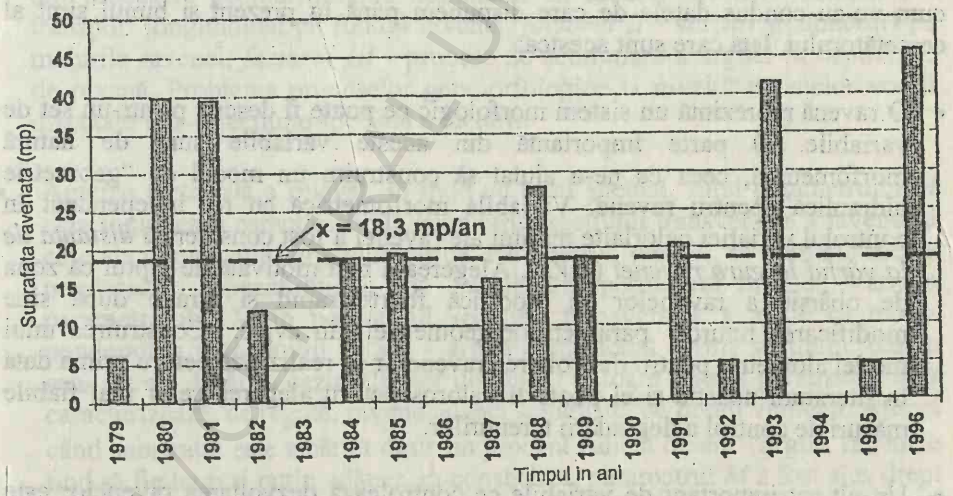


Fig. 8.54. Ritmul anual de creștere a suprafeței ocupate de vârful ravenei discontinue din valea Scrânghița - Roșcani (Ioniță, 1998).

În acest tip de depozite, vârfurile de ravenă sunt dominate de tipul morfogenetic de eroziune normală, adică înaintarea are loc predominant prin acțiunea scurgerii apelor de suprafață; doar în zona de confluență a ramificațiilor ravena se lărgește prin cedarea malurilor datorită fenomenului de salt hidraulic și marmitaj.

Monitorizarea timp de 18 ani a evoluției vârfului ravenei, perioadă în care aceasta s-a extins cu 329,9 m², a permis următoarele observații:

- că regimul anual de evoluție este pulsatoriu, definit prin variații de mare amplitudine (fig. 8. 54). În unii ani, precum 1983, 1986, 1990, 1994, nu s-a

înregistrat nici o eroziune la vârful ravenei; în schimb, în 1980, 1981, 1993, 1996 valorile retragerii au fost maxime, de 40 - 45 m². Pe ansamblu, din cei 18 ani, 22% din cazuri ravena a stagnat;

- creşteri semnificative faţă de valoarea medie multianuală de 18,3 m²/an s-au înregistrat doar în cinci ani, deci în 28% din cazuri când s-a produs 60% din creşterea totală;

- în anii aceştia, contribuţia sezonului rece (mai ales dezgheţul) a fost determinantă. Ponderea la mărirea suprafeţei vârfului ravenei a atins 62% în 1988, 85% în 1980 şi a depăşit 96% în 1981, 1993 şi 1996. Se menţionează că, deşi au fost mai reduse, creşterile din 1982, 1985 şi 1989 sunt asociate îndeosebi sezonului rece. Aceasta înseamnă că, în general, sezonul rece a contribuit hotărâtor (în 44% din cazuri). Sezonul cald a avut o contribuţie decisivă la dezvoltarea vârfului ravenei doar în 17% din cazuri.

*
* *

La finele acestui capitol, care s-a dorit o analiză a complexităţii proceselor în interiorul ravenelor, cu limitele ei inerente, se cuvine să reţinem câteva observaţii cu caracter general asupra naturii proceselor de ravenare, aşa cum ne-au condus datele de care dispunem până în prezent şi bunul simţ al cercetătorului. Iată care sunt acestea:

- O ravenă reprezintă un sistem morfologic ce poate fi descris printr-un set de variabile. O parte importantă din aceste variabile sunt de natură morfometrică, ceea ce ne-a ajutat să construim un model de "geometrie hidraulică" pentru ravene. Variabila morfometrică cu rol independent în controlul variaţiei celorlalte mărimi ale ravenei a fost considerată *distanţa de la vârful la gura ravenei* (*DVF*). Alegerea a fost motivată de faptul că zona de obârşie a ravenelor se modifică foarte rapid şi atrage după sine modificarea tuturor parametrilor geometriei din avale. Construirea unui model alometric pentru dezvoltarea ravenelor se realizează pentru prima dată în literatura noastră şi el poate fi valoros pentru alegerea celor mai fiabile măsuri de control a degradării terenurilor.

- Un alt set important de variabile ce controlează dezvoltarea ravenelor este cel al tipurilor de depozite în care ravenele s-au adâncit. Ravenele răspund diferit la acţiunea agenţilor modelatori, în funcţie de compoziţia granulometrică a depozitelor pe care se dezvoltă. O primă observaţie, demonstrată cu ajutorul diagramei ternare din fig. 8.6 este rolul discriminatoriu al tipului litologic în distincţia grupelor de ravene-test: 1. *argilo - siltic* ce caracterizează ravenele din jumătatea de nord a teritoriului investigat (Sulița, Gurguiata, Coada Gâştii) şi care se suprapune lutitelor de vârstă Sarmaţian inferior şi mijlociu. Repartiţiile granulometrice tipice pentru aceste depozite se caracterizează prin asimetrie de dreapta (fig. 8.6.) dată de dominanţa fracţiunilor fine (>10%); 2. *siltic* pentru ravenele din partea mijlocie a zonei studiate care face trecerea de la lutitele sarmaţiene la

nisipurile cu intercalații de gresii și argile ale Meoțianului (ravenele Roșcani și Poiana). În acest caz, repartițiile granulometrice sunt fie unimodale, simetrice (în jurul a 4 - 8 phi), fie bimodale, cu reprezentare bună la extremitățile histogramelor, adică >10 phi și < 4 phi; 3. *nisipos* pentru ravenele din partea sudică a zonei (Fântânele, Bâzanu, Meria) unde roca este dominant nisipoasă (nisipuri și argile cu intercalații de cinerite și gresii) de vârstă Meoțian, Pontian, Dacian și Romanian. Histogramele indică procente ridicate ale diametrelor sub 2 phi.

- Numărul mare de variabile sub care ravenele au fost studiate ne-au determinat să apelăm la metodologia analizei multivariate, sub două aspecte: *R - mod* și *Q - mod*. Rezultatul a arătat că: prin analiza *R - mod* se reduce numărul de variabile (de la 34 la 4), care conțin, în mod esențial, aceeași cantitate de informații ca și setul original, dar au avantajul că sunt mai puține la număr și permit identificarea grupelor de variabile aflate în relație. În plus, li se poate aprecia ponderea într-un sistem de corelații și pot intra într-un model de prognoză. Analiza factorială de tip *Q - mod* a condus la obținerea a maximum *3 factori* dintr-un număr de 11 variabile granulometrice analizate. În plus, fiecare factor este asociat cu o anumită distribuție granulometrică care este interpretată ca răspuns textural la unul din procesele geomorfologice dominante în arealul ravenei: *factorul I* - transport longitudinal pe fundul ravenei; *factorul II* - surpări și alunecări pe malurile ravenei; *factorul III* - procese de acumulare a argilei în depozitele de ravenă. Problema proceselor geomorfologice la nivelul ravenelor vor fi discutate într-o secțiune specială a lucrării.

- Analiza factorială a relevat, în mod cu totul special, rolul parametrului *M* care înglobează caracteristicile geometriei secțiunii transversale a ravenei și cele ale compoziției granulometrice. Parametrul, dealfel, se numește media ponderată a procentului de silt - argilă din perimetrul ravenei. Variația parametrului M în perimetrul secțiunii transversale a arătat că media ponderată a procentului de silt - argilă controlează forma secțiunii, dar în sens invers decât în cazul albiilor de râu. O valoare mică a parametrului *M* caracterizează, de regulă, ravene adânci și înguste, cu pereți verticali. Atunci când substratul este alcătuit dintr-un procent ridicat de silt - argilă, ravenele tind să fie largi și puțin adânci. În consecință, parametrul *M* a fost ales drept *criteriu de clasificare a ravenelor* din cauză că în formula lui se includ, simultan, mai multe variabile independente. Aceasta reprezintă una din contribuțiile originale în literatura de specialitate.

- Procesele geomorfologice dominante la nivelul unei ravene sunt de două tipuri: *procese de mal* (surpări, prăbușiri, alunecări, curgeri, dar și șiroiri, badlands-uri); *procese de transport longitudinal.* Zona de vârf a ravenei este cea mai dinamică din aria unei ravene. Cercetările experimentale au arătat că instabilitatea se datorește concentrării apei spre vârful ravenei, infiltrarea și formarea *seepage*-ului la contactul dintre două entități structurale (de cele mai multe ori, orizonturi diferite ale solului). Cedarea malului are loc în

zona de formare a *seepage*-ului. In ce privește traportul longitudinal sau "curățirea" ravenei de materialele prăbușite, acesta are loc prin acțiunea forței tractive a curgerii în limitele canalului.

- Raportul între procesele de mal și cele de transport longitudinal variază între 0,1 și 10, dar în proporție de peste 50% între 1 și 10. Pe ansamblu, *procesele de mal contribuie la eroziunea în ravene de 1 – 5 ori mai mult decât procesele de adâncire.*

- Cunoașterea chimiei depozitelor poate oferi indicii importante asupra stabilizării ravenei, în special, a malurilor. Dintre parametrii geochimici, de interes pentru studiul ravenelor, am ales pe cei ce pot indica rata de stabilitate a depozitelor, și anume, procentul de sodiu adsorbit (*PSA*), conductivitatea electrică (*CE*) și sărurile dizolvate în soluția solului (*SS*). Rata de instabilitate a depozitelor depinde de relația între formula capacității de schimb cationic și apa de infiltrație; în cazul solurilor cu conținut mare de argilă, instabilitatea este dată de modificarea acestora prin îmbogățirea în sodiu la suprafața agregatelor de argilă. Revenind la ravenele studiate de noi se poate avansa ideea că *stabilitatea malurilor se produce dinspre muchie spre patul ravenei, așa cum indică chimia depozitelor de suprafață, dar și tipul și densitatea vegetației instalate.*

- Variația formei profilului longitudinal este unul dintre indicatorii care, potrivit lui Heede (1974), poate exprima stadiul de evoluție a unei ravene. Am abordat studiul profilelor longitudinale prin comparație cu cel al râurilor și am determinat "pragul de eficiență hidraulică": o valoare mai mare de 2 arată o ineficiență hidraulică a ravenelor, în timp ce o valoare sub 2 arată o ravenă viguroasă, capabilă să evacueze materialul din talveg. În aceeași idee, Ioniță (1998) propune un "prag de eficacitate hidrologică" care nu este fundamental diferit față de cel al lui Heede. Ambii indicatori prezintă garanții suficiente de aplicare pentru determinarea secțiunii în curs de stabilizare a ravenelor, condiția fiind ca aceștia să fie aplicați pentru ravene distincte, în funcție de tipologia lor, discontinue sau continue, iar dacă sunt discontinue, să se separe cele cu „difuzor lung" sau singulare de cele în succesiune sau cu „difuzor scurt".

- Atenția acordată celei mai dinamice părți a ravenelor – vârful, apexul sau „headcut" - ul – încă nu a ajuns să elucideze în mod precis natura extensiunii și bifurcației ravenelor. Dificultățile au apărut atunci când s-a încercat simularea prin modele matematice a evoluției ravenelor. În ce ne privește am încercat o sistematică a diferitelor tipuri de vârfuri de ravenă, din care să se poată deduce informații asupra traseului de avansare a ravenelor.

9 • EVOLUȚIA RAVENELOR

Întregul efort de cunoaștere detaliată a fenomenului geomorfologic care se numește ravenă se canalizează spre obținerea elementelor de construire a unui model de evoluție astfel încât geomorfologul să poată înțelege și explica transformarea reliefului, iar practicianul, amenajistul să poată aplica cea mai bună soluție de ameliorare și conservare a terenului. Din cele prezentate până aici am constatat că problema eroziunii în ravene nu este deloc simplă, că inițierea și dezvoltarea acestora are loc printr-o varietate de procese. Modul cum aceste procese interacționează, controlează ratele și stilurile de evoluție a ravenelor, prin influența lor asupra relației între tendințele erozionale și cele de stabilizare. Interacțiunile proceselor tind să aibă atât dimensiuni spațiale, cât și temporale. Spațial ele pot implica interacțiunile între procesele de pe versant sau cuplarea dintre procesele de pe versant și cele bazale, de la contactul cu râul. De asemenea, a fost evidențiată și variabilitatea spațială mult mai largă, de la nivelul unui areal geografic ca cel al Podișului Moldovei unde interacțiunea proceselor s-a manifestat diferit la nivelul densității, numărului și lungimii ravenelor în teritoriu. Caracteristicile temporale ale interacțiunilor proceselor depind de relația între mărimea și frecvența evenimentelor hidroclimatice (Wolman, Miller, 1960), dar și a timpului de recuperare a reliefului (Wolman, Gerson, 1978). Modul cel mai direct de interacțiune temporală este răspunsul ravenelor prin rata de avasare la diferite evenimente hidrologice. Aici a fost evidențiat efectul sezonalității și ciclicității evenimentului climatic, dar și comportarea aleatorie pe timp lung. Un obiectiv concret pe care îl avem în atenție în această secțiune a lucrării este evoluția geomorfologică a ravenelor pe timp lung și posibilitățile de prognoză ale acesteia.

Rezolvarea practică a unor obiective de asemenea factură se face de regulă prin apelul la conceptul de model. Într-o lucrare anterioară (Rădoane et al., 1996) am luat în discuție în mod special problemele de modelare a fenomenului geografic, în general. Observațiile și comentariile cu caracter general le vom utiliza în această lucrare pentru ordonarea materialelor și informațiilor asupra modelării ravenelor. Astfel, propunem ca problema

evoluției ravenelor să fie tratată după următoarea schemă:

- tipuri de modele de evoluție a ravenelor; o evaluare istorică,
- model de regresie multiplă pentru determinarea ratei de creștere a ravenelor din Podișul Moldovei,
- timpul de avansare a ravenelor.

9.1. Tipuri de modele de evoluție a ravenelor

9.1.1. *Asupra conceptului de model*

Un model reprezintă o abstractizare, o simulare a mulțimii de procese și forme și progrozează una sau mai multe deveniri (rezultate). Deseori, termenul de model este asociat cu cel de sistem, dar între acestea nu există sinonimie. Este meritul lui Strahler (1980) pentru definirea și analizarea deosebirilor fundamentale între termeni. El explică că un *sistem* există în lumea reală și posedă atribute unice, în timp ce un *model* este o încercare de a descrie, analiza, simplifica sau înfățișa un sistem. De exemplu, suprafața Pământului există ca un sistem natural, real. Tratatele de geologie și geografie îl descriu ca o sferă cu mai multe învelișuri: litosfera, hidrosfera, pedosfera, atmosfera, biosfera, etc. Există, fără îndoială, o logică în desemnarea acestora, dar ele reprezintă schematizări ale înfățișării adevărate ale suprafelei globului pământesc. Niciodată modelul nu va reuși să se identifice, pe deplin, cu sistemul pe care îl reprezintă. Cu toate acestea modelele constituie cea mai pertinentă cale de studiu a sistemelor lumii reale, cu condiția ca ele să fie analoage sistemelor, adică să aibă aceleași trăsături și aceleași comportări.

Există mai multe tipuri de modele care se folosesc în geografle. Huggett (1985) și Kirkby (1987) sunt dintre cei care s-au preocupat de clasificarea lor. Un tablou general al tipurilor de modele este următorul:

(i) Modele conceptuale
(ii) Modele fizice (de scară)
(iii) Modele matematice
- deterministice
- statistice
- stochastice

Modelele conceptuale (calitative) sunt imagini mentale ale unui fenomen natural. Pot fi exprimate în cuvinte, ca în modelul davisian al ciclului geografic (și atunci avem un model calitativ) sau pot fi prezentate într-o formă matematică.

Modele de scară sau *modele fizice* sunt acele modele care imită sistemul real, dar la o scară redusă. Problema acestor modele este nu atât asemănarea fizică cu realitatea, cât mai ales respectarea similarității legilor fizice în model și în lumea reală. Exemple de modele fizice sunt numeroase. Formele de relief, cum sunt albiile minore, conurile aluviale, deltele, dunele de nisip sau ravenele sunt reduse la scară în laborator și create condiții de formare asemănătoare cu cele reale.

Modelele matematice sunt modele teoretice în care sistemul este construit (reprezentat) prin intermediul simbolurilor abstracte și sunt supuse rigorii argumentului matematic.

Pentru domeniul științelor geografice, trei clase de modele matematice sunt de interes: modelele deterministe, modelele statistice, modelele stochastice.

Modelele deterministe sunt cele mai obișnuite. Ele conțin un set de intrări și o predicție unică. Nu au în componența lor elemente aleatoare. Multe din aceste modele derivă din principiile fundamentale ale fizicii și chimiei și , din acest motiv, nu mai este necesar demonstrarea prin experiment. Așa este, de exemplu, legea lui Stokes, un model deterministic care pune în relatie viteza de sedimentare a unei mici sfere cu raza ei într-un fluid vâscos. Acest model a derivat direct dintr-un principiu hidrodinamic enunțat în 1851. A fost apoi verificat prin experiment și s-a găsit o aplicație excepțională la particulele care se sedimentează și au diametre ce variază între 0,0005 mm și 0,08 mm. Particulele mai mici sunt influențate de efectul brownian, iar cele mai mari de turbulența pe care ele o creează.

Modelele statistice au în componența lor elemente aleatoare, dar predicția este, de asemenea, unică. Elementele aleatoare reprezintă fluctuațiile nepredictibile în setul datelor de laborator sau de teren și pot deriva din erorile de măsurare, de calcul sau din variabilitatea fenomenului studiat. În cadrul acestor modele sunt de ajutor o sumă de teorii statistice inferențiale care indică modul cum datele trebuie să fie colecate și dacă relațiile în cadrul lor pot fi acceptate sau nu și în ce condiții.

Baza modelelor statistice este dată de corelație și regresie din care derivă tehnicile mult mai complexe de analiză multivariată, capabile de a explora interrelațiile într-un volum mare de date măsurate. Modelele statistice sunt deosebit de eficiente, întrucât se aplică numai în condiții strict controlate (Huggett, 1985).

Modelele stochastice conțin un proces aleatoriu în cadrul lor, care descriu sistemul sau fațete ale lui pe baze probabilistice și nu deterministice. În cadrul acestor modele se cuprind cele bazate pe lanțurile Markov, pe mecanica statistică, modelelor Box - Jenkins, atât de populare în domeniul cercetărilor geografice.

Întrucât modelele matematice sunt rezolvate, în genere, cu ajutorul calculatoarelor electronice, după gradul de complexitate a constituirii lor se disting trei tipuri de modele:

(i) Modele de tip cutie neagră
(ii) Modele de tip cutie gri
(iii) Modele de tip cutie albă

Modelele de tip cutie neagră se mai numesc și modele intrare - ieșire, deoarece tot efortul este concentrat asupra relatiilor intrare - ieșire și nu se cunoaște nimic despre schimbările produse în interiorul sistemului. Sistemul în ansamblu este considerat ca un întreg. De exemplu, un bazin hidrografic care este abordat doar la nivelul intrării (precipitatiile) și al ieșirii (scurgerea lichidă în secțiunea de închidere). Relațiile între aceste două variabile pot oferi, indirect, informații privind stocajul în interiorul bazinului. Sau în cazul ravenelor, intrările pot fi formate, de exemplu, de cantitatea precipitațiilor și scurgerii lichide amonte de vârful ravenei, iar ieșirea, fie de rata de avansare a vârfului ravenei, fie de volumul de material evacuat la gura ravenei.

Modelele de tip cutie gri implică o viziune parțială asupra sistemului, interesul fiind concentrat asupra unui număr limitat de subsisteme. De exemplu,

în cadrul aceluiași sistem reprezentat de un bazin hidrogratic, transferul de masă (apă + sediment) este cunoscut și la nivelul versanților, al rețelei hidrografice de ordinul I, II, .. , *n*, astfel încât, în diferite sectoare ale bazinului se poate determina funcția de transfer a masei de material (apă + sediment) cu care bazinul contribuie până în secțiunea de evacuare. În cazul ravenelor, în acest tip de modele interesul poate fi segmentat pe subsitemul malurilor și subsistemul talvegului ravenelor; de asemenea, și în cadrul ravenelor se poate aplica un sistem de ierarhizare asemănător celui pentru rețelele de râuri, deosebindu-se ordine de mărime, astfel încât există o sumă de posibilități de abordare a cunoașterii și prognozei evoluției ravenelor.

Modelele de tip cutie albă se referă la o cunoaștere detaliată a relatiilor, structurilor, fluxurilor din cadrul sistemului. Această categorie de modele tinde să înfățișeze realitatea cât mai autentic.

9.1.2. *Modele calitative de evoluție a ravenelor*

Cele mai simple modele de evoluție ale ravenelor sunt cele bazate pe conceptul davisian al evoluției, potrivit căruia formele de relief parcurg stadiile de tinerețe, maturitate și bătrânețe. Există numeroase exemple în literatură, dar două ni s-au părut extrem de sugestive pentru ceea ce dorim să demonstrăm: (i) evaluarea stadiilor de evoluție ale ravenelor pentru zona de dealuri subcarpatice și podișuri realizată de Bălteanu, Taloescu (1978), bazată pe observarea în teren a numeroase cazuri și construirea unui model mental, intuitiv, perfect credibil, fără a implica parametri matematici; (ii) evaluarea stadiilor de evoluție a ravenelor din zona piemontană a văii Trotușului, utilizând proprietatea de ergodicitate a sistemelor evolutive (Ichim, Rădoane, 1983).

(a) *Modelul Bălteanu și Taloescu (1978).* Cercetările au fost realizate în arii etalon din Podișul Bârladului, Subcarpații Buzăului, Subcarpații Getici și Piemontul Getic. În fiecare perimetru, care a inclus între 50 și 200 de formațiuni torențiale au fost realizate măsurători asupra principalelor elemente morfometrice în strânsă corelație cu substratul litologic și cu modul actual de utilizare a terenului. În condițiile astfel arătate au fost identificate patru stadii a căror succesiune a fost evidentă, cu precădere, în condiții de omogenitate litologică relativă a versanților. Le redăm întocmai după autorii citați:

1. *Stadiul incipient de eroziune discontinue* începe din momentul în care formele eroziunii de adîncime nu-și mai modifică traseul de la o ploaie torențială la alta sau nu mai pot fi astupate prin arăturile obișnuite. Șuvoaiele formate prin contopirea treptată a șiroaielor cu albii efemere de pe versanți pot fi diferențiate în trei tronsoane: tronson de eroziune în care are loc încărcarea curentului cu materiale; tronson de echilibru dinamic corespunzător unei încărcături aproximativ egale cu limita de saturare; tronson de depunere unde încărcătura este mai mare decît limita de saturare. Tronsonul de eroziune corespunde unor rupturi de pantă sub formă de mici trepte accentuate de la o ploaie la alta. Aceste trepte pot fi dispuse în rețele de aliniamente conforme cu linia de cea mai mare pantă sau pot apărea izolat acolo unde există o breșă în covorul vegetal de pe versant. Prezența treptelor este legată adesea de existența

unor linii de drenaj subteran a apei asociate cu procese active de tasare și sufoziune. Prin retragerea treptelor se formează un canal de drenaj îngust cu maluri verticale. Acolo unde este intersectată panta versantului este depus un con de dejecție embrionar.

Spre deosebire de rigolele efemere, a căror pantă coincide cu cea a versantului, la aceste formațiuni profilul longitudinal începe să se diferențieze de cel al versantului prin apariția în canalul de scurgere a unei succesiuni de praguri.

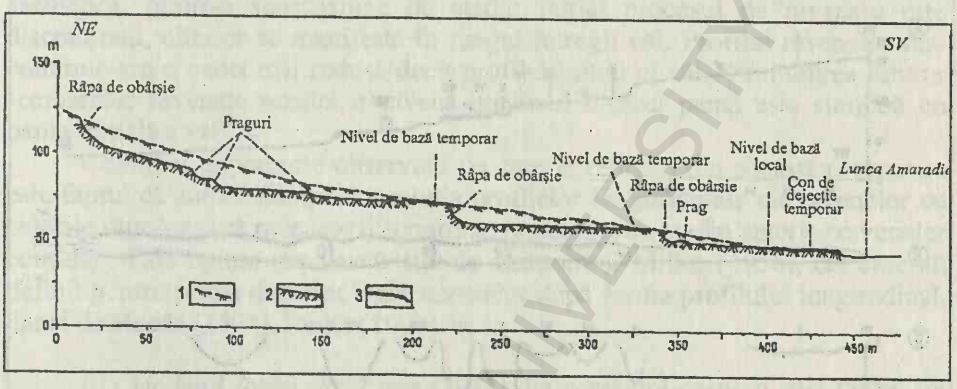


Fig. 9.1. Profilul longitudinal al unei ravene discontinue dezvoltată pe luturi nisipoase (Bazinul Amaradiei - Piemontul Getic): *1* - profilul versantului; *2* - fundul ravenei; *3* - con de dejecție (Bălteanu, Taloescu , 1978).

2. *Stadiul de formare a ravenelor discontinue* corespunde începutului de conturare a unui bazin de recepție care contribuie la o concentrare accentuată a scurgerii. Râpa de obârșie abruptă și instabilă, malurile verticale afectate de surpări indică existența unor procese intense de eroziune (fig. 9.1). Paralel cu retragerea viguroasă a obârșiei are loc alungirea spre aval a ravenei prin străpungerea conurilor embrionare formate anterior. Ravenele discontinue sunt dispuse în rețele pe versant și evoluează diferit în funcție de nivelele lor de bază suspendate, de rezistența substratului și de frecvența și intensitatea precipitațiilor. Faptul că anumite ravene discontinue sunt slab dezvoltate sau în parte stabilizate nu înseamnă că ele nu prezintă un pericol potențial de reactivare.

3. *Stadiul de integrare a ravenelor discontinui în ravene continui* reprezintă saltul calitativ prin care ravena, în ansamblu, evoluează în funcție de nivelul de bază local de la baza versantului. Prin unificarea succesivă a sectoarelor suspendate de pe un versant ravena discontinuă se transformă într-o ravenă continuă, cu un canal neîntrerupt până la confluența cu o ravenă principală sau până la baza versantului. Acest stadiu este ușor de recunoscut pe teren prin faptul că ravena este alcătuită din tronsoane omogene, inegale, despărțite prin praguri accentuate de integrare (fig. 9.2).

Fiecare tronson își are propria pantă și un mod specific de dispunere a pragurilor secundare. Măsurătorile repetate efectuate pe ravenele din Subcarpații

Buzăului au pus în evidență că fiecare tronson omogen are un ritm diferit de retragere a pragurilor și malurilor.

4. *Stadiul de realizare a profilului de echilibru dinamic* începe odată cu atingerea nivelului de bază local, cu realizarea din avale spre amonte a unui profil longitudinal care să permită transportul în condiții optime a materialului provenit din maluri și de pe versanți.

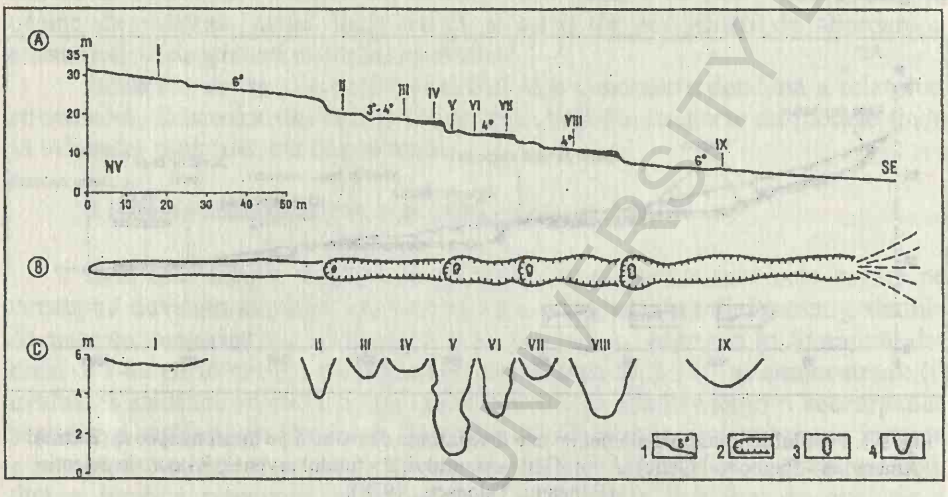


Fig. 9.2. Ravenă continuă rezultată prin integrarea unor tronsoane de ravene discontinue dezvoltate pe pietrișuri de Cândești (Subcarpații Buzăului - Depresiunea Pătârlagele). *A* – profilul longitudinal; *B* – vedere în plan; *C* – profile transversale: *1* – panta profilului longitudinal; *2* – mal abrupt și prag; *3* – marmită; *4* – profil transversal (Bălteanu, Taloescu, 1978).

În acest stadiu se realizează un echilibru dinamic între competența și capacitatea de transport a curentului și între energia cinetică (debit-viteză) și încărcătura sa (masa și diametrul echivalent maxim al aluviunilor). În perioada definitivării profilului de echilibru dinamic are loc o retragere și o diminuare a pragurilor, contribuind la atenuarea diferențelor dintre diferite sectoare. În lungul profilului se deosebesc trei sectoare - un sector de eroziune, unul neutru sau de transport și unul de aluvionare. Sectorul neutru este mobil, urcând și coborând în funcție de caracteristicile hidrodinamice ale curentului. Astfel, când cantitatea de aluviuni crește, sectorul neutru se deplasează spre amunte. Fundul formațiunii torențiale ajunse în echilibru dinamic este acoperit cu o pătură aproape continuă de aluviuni cu grosimi și structuri diferite, pătură care are un rol esențial în menținerea echilibrului. Astfel, când energia cinetică a curentului crește, sînt transportate o parte din aluviuni, contribuind la descreșterea energiei disponibile pentru exercitarea proceselor de eroziune. Toate punctele profilului de echilibru evoluează solidar, orice schimbare dintr-un anumit loc înregistrându-se în lungul întregului profil. În acest stadiu se perfectează și profilul de echilibru transversal, malurile atingând panta lor limită în funcție de substratul litologic pe care s-au format. Malurile ravenei ajunse la echilibru pot să fie afectate de noi procese de ravenare. Evoluția ravenei nu încetează odată cu atingerea profilului de echilibru, ci devine mai lentă, eroziunea exercitându-se

prin intermediul păturii de aluviuni. De la gura de vărsare spre amonte se depun conuri de dejecție succesive care formează noi baze de eroziune. Odată cu instalarea vegetației, ravena s-a transformat într-o formă relativ stabilizată - *văiugă, vâlcea* sau *vale seacă* - în funcție de elementele sale morfometrice.

Orice modificare a condițiilor prin schimbări de ordin tectonic, climatic sau antropic duce la deranjarea echilibrului dinamic; ravena va redeveni activă pentru realizarea unui nou profil de echilibru dinamic, corespunzător noilor parametri. Reluarea eroziunii pe fundul văii seci evoluate se desfășoară, de asemenea, printr-o succesiune de stadii; inițial procesul de ravenare este discontinuu, ulterior se manifestă în lungul întregii văi. Profilul ravenelor discontinue are o pantă mai redusă decît profilul inițial al văii. Prin unirea tuturor sectoarelor ravenate rezultă o ravenă continuă a cărei pantă este similară cu panta inițială a văii.

Cele mai importante observații pe care le reținem din această prezentare este faptul că autorii compară evoluția profilelor longitudinale ale ravenelor cu cele ale râurilor și că ravenele discontinue reprezintă un stadiu anterior ravenelor continue. Este opinia exprimată atât de Leopold și Miller (1956), cei care au definit pentru prima dată tipologia ravenelor după forma profilului longitudinal, dar și de Heede (1974), Ioniță (1998).

(ii) *Modelul Ichim, Rădoane (1983).* Pe versantul drept al văii Trotuș, în aval de localitatea Căiuți, în care albia vine în contact cu versantul format din depozite pliocene, organismele torențiale s-au extins uneori până la cumpăna de ape. Asupra acestor formațiuni torențiale nu sunt aprecieri de natură să se evalueze stadiul și tendințele lor de evoluție. În lipsa unor observații asupra dinamicii lor, considerăm că, cel puțin pentru scopuri practice, astfel de observații de lungă durată pot fi suplinite într-o bună măsură prin cercetarea dezvoltării în spațiu a mai multor ravene; cu condiția ca cel puțin litologia să fie relativ omogenă. Metodologia de abordare pleacă de la proprietatea de *ergodicitate* care caracterizează numeroase sisteme evolutive, înțelegând prin aceasta convergența probabilităților de trecere în "*n*" pași spre limite care nu depind de starea inițială. După cum se cunoaște, ipoteza ergodică arată că o serie statistică în timp are aceleași caracteristici cu un set de observații asupra aceluiași fenomen în spațiu; respectiv, aceasta înseamnă că în anumite circumstanțe are loc ceea ce specialiștii numesc "substituirea reciprocă a timpului și spațiului".

Fondul de date de care am dispus se referă la un număr de 14 ravene, ridicate pe planuri topografice în scară 1/5000, a căror curbe de nivel au echidistanță de 2,5 m. Condițiile de evoluție ale acestora sunt destul de omogene. Din punct de vedere litologic, arealul se cuprinde în cadrul formațiunilor pliocene, alcătuite din alternanțe de prundișuri, nisipuri, iar la partea superioară luturi; din punct de vedere morfologic versantul este convex și contactul cu albia majoră a râului Trotuș se face printr-un abrupt activ, înalt de 25 - 40 m; terenurile sunt folosite pentru culturi agricole și vetre de sat. În tabelul 9.1 sunt redate caracteristicile geometrice ale unui număr de 5 ravene, împreună cu bazinele lor de recepție (fig. 9.3a și b).

Potrivit reprezentării în profil longitudinal, atât la nivelul talvegului, cât și la nivelul liniei versantului (fig. 9.4), ravenele au râpe de obârșie cu înățimi până

la 20 - 30 m, iar talvegurile sunt constituite dintr-o succesiune de praguri de 7 - 10 m în cazul ravenei 1, de 3 - 5 m în cazul ravenei 4, iar ravena 5 are un profil longitudinal aproape lipsit de ruperi de pantă.

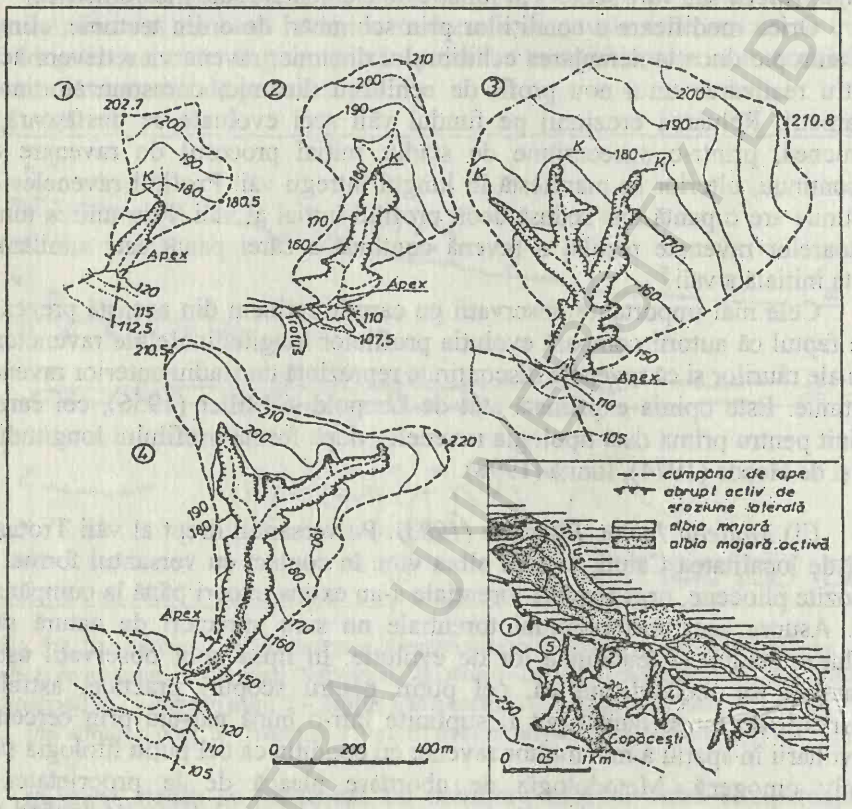


Fig. 9.3 a. Planul de situație a ravenelor 1 – 4 și localizarea în valea Trotușului (versant drept): *K* – praguri de obârșie (Ichim, Rădoane, 1983).

Tabel 9.1. **Date asupra unor ravene de pe versantul drept al văii Trotuș (zona Copăcești) (Ichim, Rădoane, 1983)**

Ravena	Ordin mărime	Suprafața bazinului (mp)	Suprafața activă (mp)	Perimetrul (m)	Perimetrul activ (m)	H max (m)	h min (m)	Integrala hipsometrică (%)	
								talveg	versant
1	1	81000	11000	1250	350	202.7	120	60.44	71.48
2	2	167000	31750	1900	825	210.0	115	52.56	63.40
3	2	486250	75000	2700	2650	210.8	110	41.62	65.10
4	3	279750	87250	2800	2500	220.0	120	40.36	69.16
5	3	1626500	220750	5175	6025	287.0	120	37.80	76.56

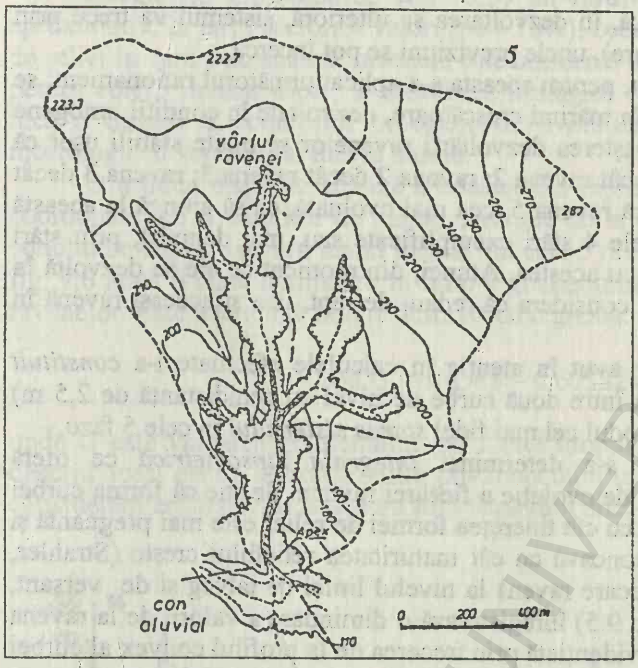


Fig. 9.3 b. Planul de situație a ravenei 5 localizată în valea Trotușului (versant drept), (Ichim, Rădoane, 1983).

În absența măsurătorilor efectuate la diferite date (timpi) asupra formei pe care o ia un sistem, aparent este aproape imposibil să se poată face previziuni pe o anumită perioadă asupra evoluției acestui sistem.

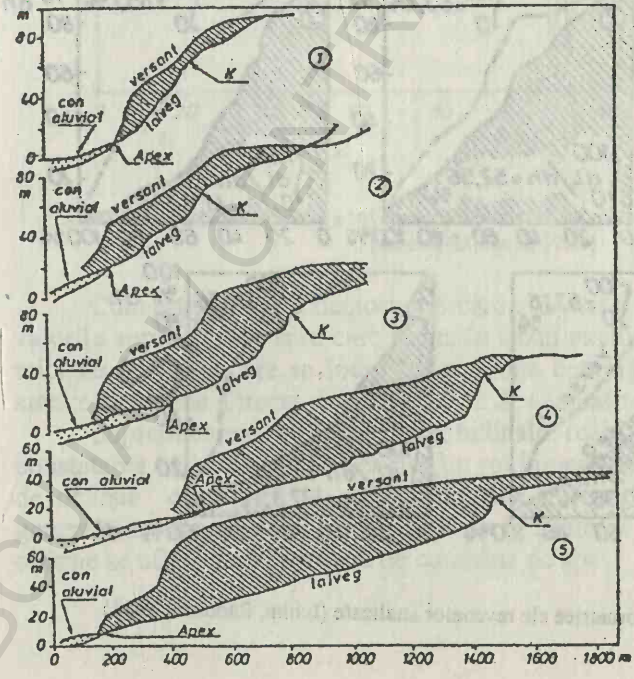


Fig. 9.4. Profilele longitudinale ale ravenelor analizate: *K* – praguri de obârșie (Ichim, Rădoane, 1983).

BCU IAȘI CENTRALA UNIVERSITARĂ LIBRARY

Și totuși cu ajutorul proprietății de ergodicitate pe care unele sisteme evolutive o au (în sensul că, în dezvoltarea sa ulterioară, sistemul va trece prin una din stările sale anterioare), unele previziuni se pot încerca.

În cazul exemplificat, pentru aceasta s-a aplicat următorul raționament: se pleacă de la cele 5 ravene în mărimi crescătoare, dezvoltate în condiții omogene (fig. 9.3 a și b). Din cunoașterea dezvoltării ravenelor se poate stabili ușor că ravena 1 este mai tânără decât ravena 2; ravena 2 decât ravena 3; ravena 3 decât ravena 4 ș.a.m.d. Rezultă că ravena 5, cea mai evoluată, ca să ajungă la această stare a trecut prin toate cele 4 stări exemplificate sau, mai degrabă, prin stări aproximativ asemănătoare cu acestea. Atunci, din moment ce ele se dezvoltă în condiții omogene se poate considera că redau, de fapt, una și aceeași ravenă în cinci faze de evoluție.

Elementul cantitativ avut în atenție în calculele efectuate l-a *constituit panta talvegului* (măsurată între două curbe de nivel cu echidistanță de 2,5 m) care exprimă, de fapt, în modul cel mai fidel *starea sistemului* în cele 5 faze.

Într-o primă etapă s-a determinat *integrala hipsometrică* ce oferă informații asupra stadiului de evoluție a fiecărei ravene. Se știe că forma curbei hipsometrice este convexă cu cât tinerețea formei de relief este mai pregnantă și devine din ce în ce mai concavă cu cât maturitatea reliefului crește (Strahler, 1952). Calculată pentru fiecare ravenă la nivelul liniei de talveg și de versant, integrala hipsometrică (fig. 9.5) înregistrează o diminuare a valorii de la ravena 1 la ravena 5 (tabel 9.1), evidențiată prin trecerea de la profilul convex al curbei integralei pentru ravena 1, la profilul concav al curbei integralei pentru ravena 5.

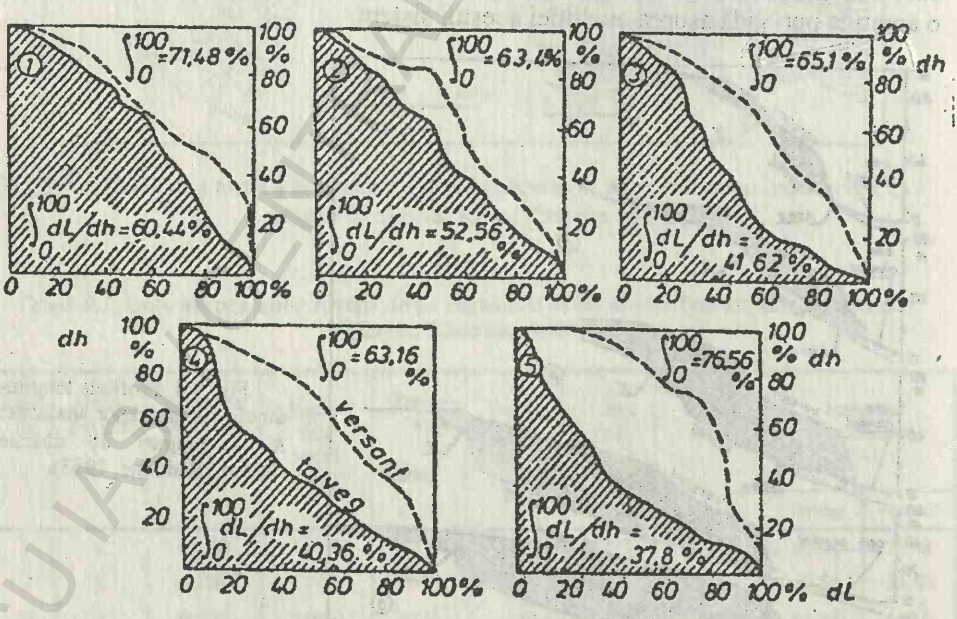


Fig. 9.5. Curbele hipsometrice ale ravenelor analizate (Ichim, Rădoane, 1983)

Integralele hipsometrice (fig. 9.5) ale profilelor de versant variază, aproximativ, în jurul aceloraşi valori (60 - 70%), ceea ce demonstrează că masa de relief în care s-au adâncit ravenele este uniformă şi în ce priveşte morfologia pentru cele 5 ravene. Deci, la alcătuirea litologică relativ uniformă se adaugă încă o dovadă a condiţiilor omogene de evoluţie, respectiv, cea de ordin morfologic al versantului luat în studiu.

O a doua etapă de analiză a constat din reprezentarea într-un spaţiu de coordonate *X,Y* a valorilor de pantă, măsurate de la cumpăna de ape la apexul conului de dejecţie pentru lanţul format din cele 5 ravene. Tendinţa exprimată în fig. 9.6 arată o clară diminuare în timp a gradientului profilului longitudinal al ravenelor. Este o tendinţă liniară descrisă de regresia:

$$\text{Log } G = 1.0568 - 0.00382\, t$$

unde G este valoarea gradientului, iar t este timpul. Cele 187 de puncte care descriu acest declin al gradientului pot fi socotite unităţi de timp, t, pe care le considerăm arbitrare, deoarece nu ştim dacă sunt zile, luni sau ani.

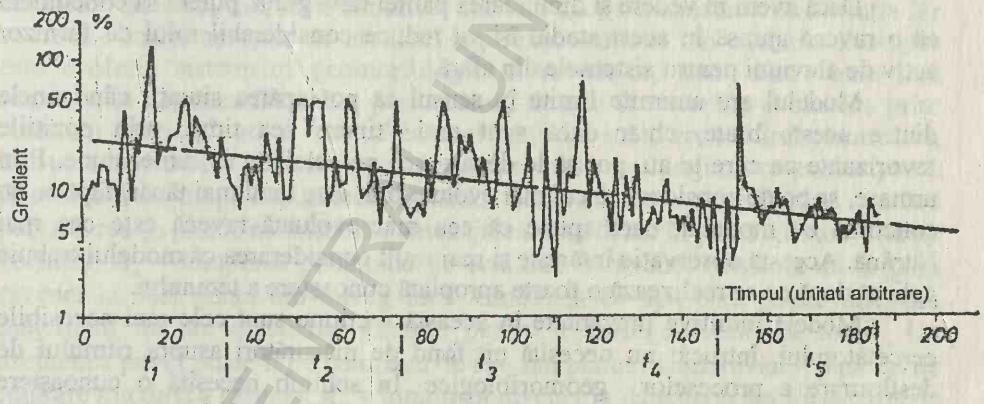


Fig. 9.6. Tendinţa de evoluţie a ravenelor exprimată prin diminuarea gradientului talvegului (Ichim, Rădoane, 1983)

Cunoaştem doar traiectoria pe care a urmat-o ravena în dezvoltarea ei şi valorile aproximative spre care tinde. În cazul exemplificat, valorile pantei mai mici de 5% spre care se îndreaptă tendinţa centrală de evoluţie determină să arătăm că ravena a trecut deja într-o fază de atenuare a adâncirii ei.

Suprapunerea profilelor longitudinale reale ale ravenelor ne duce la constatarea că în evoluţia ravenelor un rol important îl are retragerea abruptului de obârşie care tinde să atingă cumpăna de ape, concomitent cu adâncirea generală a talvegului. În ultima fază de evoluţie, a V-a (fig. 9.7), abruptul de obârşie se află cel mai aproape de cumpăna de ape.

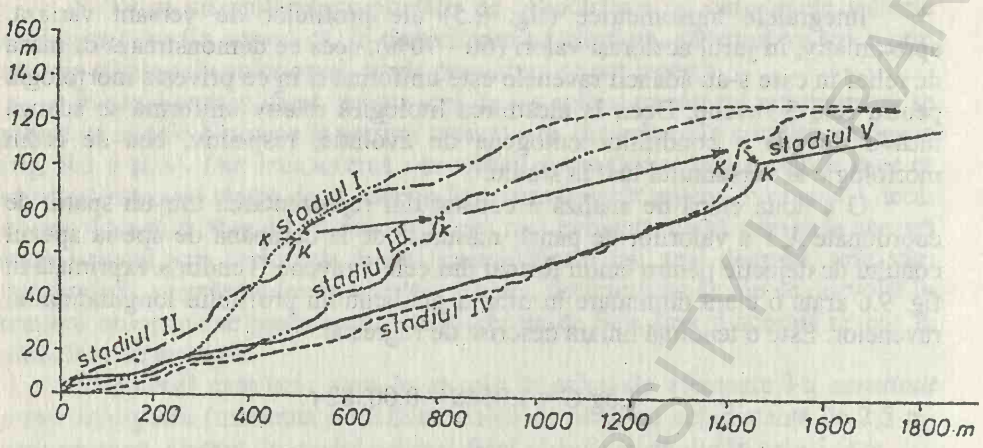


Fig. 9.7. Retragerea abruptului de obârșie a ravenelor exprimată în cinci faze de evoluție (Ichim, Rădoane, 1983)

Dacă avem în vedere și diminuarea pantei talvegului, putem să conchidem că o ravenă ajunsă în acest stadiu își va reduce considerabil rolul de furnizor activ de aluviuni pentru sistemele din afară.

Modelul are anumite limite în sensul că pot apărea situații când unele dintre aceste brațe, chiar dacă sunt mai "tinere" ca timp, prin pozițiile favorizante pe care le au, pot să le depășească pe celelalte ca dimensiune. Prin urmare, se poate considera că cel mai evoluat braț este unul mai tânăr, fapt ce nu concordă cu modelul, care spune că cea mai evoluată ravenă este cea mai bătrână. Această observație întărește și mai mult considerarea că modelul trebuie aplicat după ce se realizează o foarte apropiată cunoaștere a terenului.

Modele intuitive prezentate în această secțiune sunt cele mai accesibile cercetătorului, întrucât nu necesită un fond de măsurători asupra ritmului de desfășurare a proceselor geomorfologice. În schimb necesită o cunoaștere aprofundată a fenomenului geomorfologic, în general, o capacitate de sinteză și abstractizare care se obține, fără îndoială, printr-o lungă experiență de cercetare și observare în teren. Asemenea modele sunt supuse, evident, subiectivismului cercetătorului, care poate greși în ce privește rata de evoluție, timpul de eroziune și stabilizare a formei de relief, dar rareori poate greși în ce privește traiectoria evoluției și forma spre care tinde elementul geomorfologic analizat. Pentru a suplini asemenea neajunsuri au fost investigate alte noi posibilități de prognoză, date de modelele cantitative de evoluție.

9.1.3. *Modele cantitative de evoluție a ravenelor*

Modelele cantitative au la bază o sumă de variabile măsurate și o relație matematică pe baza căreia se realizează predicția. Din clasa modelelor cantitative vom aduce în discuție o sumă de modele deterministice, statistice, dar și unele modele numerice. Prezentarea lor va fi făcută în această ordine.

9.1.3.1. Modelul lui Graf sau legea exponențială a evoluției

Considerațiile teoretice în legătură cu acest model au fost făcute la capitolul de concepte teoretice în studiul ravenelor, astfel încât aici vom prezenta aplicația propriu-zisă a modelului.

Prima întrebare pe care și-o pun specialiștii în domeniul amenajării și exploatării terenurilor, ale bazinelor hidrografice este următoarea:

Cât de mult timp este necesar ca un sistem natural, odată perturbat, să revină la o nouă stare staționară?

Această perturbare a apărut cu acuitate în ultimele decenii, deoarece intervențiile antropice masive asupra sistemelor naturale au declanșat schimbări numeroase și neașteptate. Schimbarea produsă în sistem de la primirea șocului și până la revenirea la o nouă stare staționară se numește *timp de relaxare.* Evaluarea acestui timp este cu atât mai importantă când este vorba de sistemele geomorfologice, senzitive la schimbările impuse de ciclurile climatice și intervențiile antropice.

Din cercetările experimentale asupra celor mai variate sisteme geomorfologice supuse perturbării (colmatarea albiilor majore, colmatarea cuvetelor lacustre, formarea conurilor aluviale ș.a.) s-a constatat că evoluția lor se înscrie foarte apropiat de modelul legii exponențiale. Un exemplu ilustrativ este evoluția sistemului geomorfologic al ravenelor, unul dintre cele mai senzitive la acțiunea factorilor perturbatori. Se știe că ravenele evoluează prin: "consum de masă", adică dislocarea unei părți din sol și rocă și îndepărtarea ei, într-un timp, uneori extrem de scurt. Așadar, creșterea lungimii ravenelor poate fi evaluată în timp, cunoscând următorii parametri: t = timpul când are loc perturbarea (o ploaie neobișnuită, amenajarea unui drum în pantă, o excavație pe versant); A_o = lungimea potențială de echilibru a ravenei (distanța de la gura ravenei la acel punct din talveg unde cantitatea de apă care poate îndepărta materialul nu are suficientă energie pentru a învinge rezistența rocii). Un asemenea punct poate fi pe cumpăna de ape sau platoul interfluvial – punctul de migrare maximă a ravenei; A_x = lungimea ravenei la data cercetării, măsurată de la vârf la gura ei; A_t = distanța de la vârful ravenei la cumpăna de ape, respectiv, lungimea de teren care urmează să fie erodată până la punctul de echilibru. Modelul are următoarea expresie matematică:

$$\ln A_t = \ln(A_x + A_o) - b \cdot t$$

Am aplicat modelul la un numar de 48 de ravene măsurate pe planuri în scară 1/2000 din zona Hârlău – Cepleniţa, pentru care, printre alte variabile, am determinat și parametrii care intră în ecuația de mai sus (tabel 9.2).

Fenomenul de ravenație în bazinul hidrografic Jijia se caracterizează prin următorii parametri (Rădoane et al., 1988): o densitate rnedie de 0,1 - 1 km/km², o lungime medie de 200 m (peste 70% fiind sub 30 m), distanta medie de la vârful ravenei la punctul de echilibru (respectiv cumpăna de ape) este de 330 rn. Aceste caracteristici plasează procesul de ravenație din arealul exemplificat în categoria rnoderat (conform clasificării Kalinicenko și Ilinski, 1976).

Tabel 9.2. **Date asupra ravenelor din perimetrul Hârlău-Cepleniţa**

Nr. ravena	Ordin mărime sistem Strahler	Suprafaţa bazinului de drenaj al ravenei (ha)	Suprafaţa activă a ravenei (ha)	Nr. retea ord. I	Lungimea totală a reteţei (m)	Lungimea ravenei *Ax* (m)	Distanţa vârf ravenă-cumpăna de ape *At* (m)	Lungimea potenţială *Ao* (m)
1	3	7,000	1,400	5	836	462	140	602
2	1	0,880	0,058	1	64	64	141	205
3	1	0,960	0,170	1	100	100	240	340
4	2	2,436	0,380	2	235	210	180	255
5	1	0,580	0,120	1	190	190	170	360
6	2	2,200	0,800	3	444	215	80	482
7	1	0,250	0,100	1	80	80	20	100
8	1	0,580	0,080	1	75	75	80	155
9	1	0,910	0,380	1	180	180	95	275
10	1	1,134	0,300	1	255	255	88	343
11	2	3,660	0,880	2	617	579	120	699
12	1	1,320	0,080	1	90	80	120	210
13	1	0,920	0,100	1	84	84	145	229
14	3	2,000	0,700	6	700	440	90	530
15	2	0,890	0,060	2	360	250	105	415
16	2	0,890	0,360	4	300	220	90	310
17	2	3,040	0,510	4	1145	585	125	970
18	2	1,920	0,270	3	565	430	150	580
19	1	0,960	0,170	1	505	505	130	635
20	1	0,580	0,220	1	220	220	25	245
21	1	1,300	0,540	1	460	460	120	580
22	2	7,192	1,224	4	620	490	90	605
23	2	3,240	0,220	3	420	320	300	620
24	3	25,330	0,360	12	1638	740	518	1388
25	2	7,060	0,490	6	495	360	150	510
26	3	109,375	1,590	16	2190	720	1060	1780
27	2	8,400	0,260	2	310	290	1060	1350
28	2	13,220	0,120	3	420	300	1280	1580
29	1	0,440	0,040	1	170	170	160	330
30	2	1,840	0,160	3	390	310	240	550
31	1	0,400	0,060	1	65	65	250	315

32	2	0,440	0,080	2	95	70	10	80
33	2	1,320	0,270	2	390	260	50	310
34	1	1,040	0,210	1	125	125	50	175
35	2	0,280	0,060	1	120	120	15	135
36	2	2,760	0,720	2	295	275	90	365
37	3	12,620	0,143	15	2185	600	60	660
38	2	2,220	0,310	3	430	315	100	415
39	2	1,400	0,160	2	332	230	45	275
40	1	0,460	0,040	1	95	95	60	155
41	2	0,410	0,090	2	175	150	50	200
42	1	0,210	0,090	1	150	150	70	220
43	1	0,500	0,080	1	150	150	50	200
44	3	75,000	0,600	12	1495	685	860	1545
45	4	13,020	1.620	16	2225	545	120	665
46	2	0,430	0,090	3	210	165	120	285
47	2	1,120	0,290	4	430	330	100	430
48	3	6,730	0,460	6	1682	820	445	1265
Med	**2**	**6,872**	**0,392**	**3,5**	**516,4**	**303**	**222,2**	**252,5**

Variabila *t*, respectiv, timpul de perturbare, a fost evaluată, ținând cont de ciclurile climatice determinate pentru Podisul Moldovei: $t = 16$ ani; $t = 34$ ani; $t = 57$ ani. Ciclurile au fost determinate pe baza analizei seriilor de timp ale precipitațiilor anuale pentru perioade de până la 100 ani la stații meteorologice din Podișul Moldovei.

Așadar, odată la 16, 34 sau 57 ani în aria Podișului Moldovei se manifestă o rată crescută a agresivității climatice, îndeosebi, prin creșterea cantității de precipitații, care poate declanșa și amplifica procesul de ravenație. Un rol important îl au tipurile de utilizare a terenurilor, litologia, dar în cazul nostru au fost considerate constante în arealul mic la care ne-am referit.

Rezultatele obținute sunt redate sub formă grafică în care, pe orizontală, este dată retragerea ravenei în metri, iar pe verticală timpul în ani. Starea medie a celor 48 de ravene studiate arată următoarea tendință (fig. 9.8):

a) distanța medie până la care ravenele pot evolua în actualele condiții este de 525 m și coincide cu punctul de echilibru de la cumpăna de ape;
b) în cazul când perioada de perturbare se repetă odată la 16 ani, jumătate din lungimea ravenei, respectiv, 260 m, va fi erodată în 10 – 14 ani; în medie, sistemul de ravene poate atinge punctul de echilibru după o perioadă de 70 ani;
c) dacă $t = 34$ ani, sistemul de ravene poate atinge punctul de echilibru după o perioadă de 140 ani, iar dacă $t = 57$ ani, sunt necesari peste 200 ani pentru ajungerea la această fază.

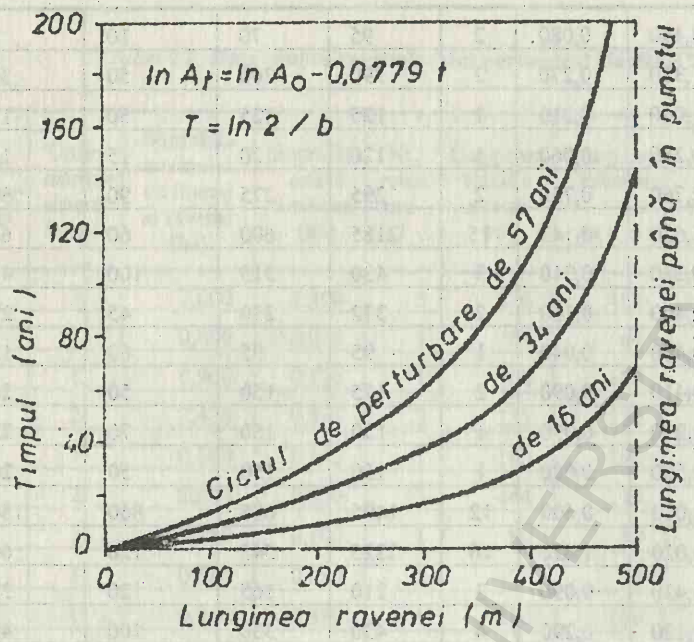


Fig. 9.8. Cicluri de evoluție ale ravenelor din Podișul Moldovei. (Rădoane et al., 1996)

Forma exponențială negativă este conformă cu numeroase date reale, care arată că ajustările dimensionale în sistemul de ravene au loc după o curbă de descreștere, sugerând acțiunea unei bucle de feedback negativ.

O altă situație exemplificată provine din cercetările lui Graf (1977) referitoare la două sisteme de ravene din zona Colorado, SUA, situate, unul într-o zonă rurală, iar cel de-al doilea, în una urbană. Bazinele lor de recepție sunt de circa 0,85 km², cu o energie a reliefului de 45 m. Lungimea acestor ravene variază între 800 m și 1300 m. Morfologia ravenelor sugerează că eroziunea lor are caracter episodic, cu formarea unei protoravene, care ulterior a fost incizată de o a doua ravenă (fig. 9.9). Evidența dendrocronologică arată că sistemul de protoravene și-a început evoluția în 1826 și că din 1880 pragul de obârșie a avansat cu 80% din lungime. Arborii care au crescut apoi în apropierea vârfului sistemului de protoravene arată că acesta a rămas stabil din 1927.

Tabel. 9.3. **Date asupra ravenelor studiate de Graf (1977)**

Ravena	Localizarea	Natura inițierii ravenei		Numărul de observații
		Tipul	Data	
Protoravena	Zona rurală	Natural	1826	16
Ravena 1	Zona rurală	Natural	1906	20
Ravena 2	Zona urbană	Antropic	1960	10

Distribuția arborilor după vârstă în lungul profilelor arată o creștere inițială rapidă a sistemului, urmată de o apropiere asimptotică către o aparentă stare de

echilibru. Folosind datările dendrocronologice, fotografiile aeriene repetate s-au putut determina valorile *A*t și *t* din ecuația de mai sus (tabel 9.3). Coeficienții de corelație foarte mari arată că modelul exponențial este o reprezentare corectă a timpilor de relaxare a sistemelor de ravene.

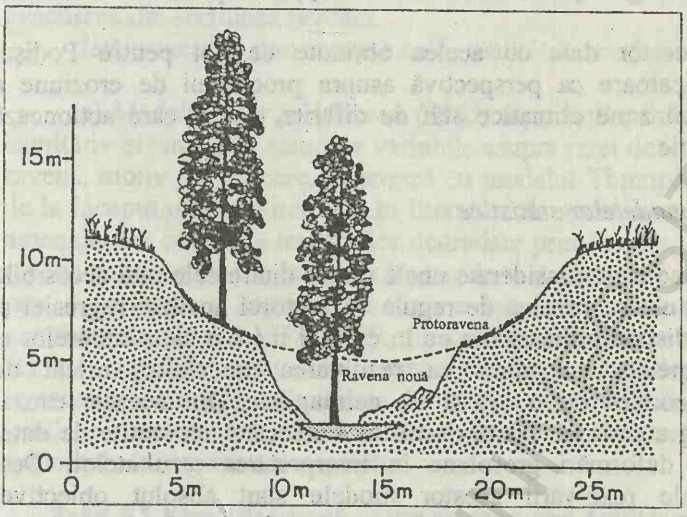


Fig. 9.9. Secțiune transversală tipică a unei ravene și protoravene. Depozitele actuale din albie sunt parțial îngropate de prăbușiri și alunecări care vor fi îndepărtate la următoarea viitură. *Pinus ponderosa* din stânga este mai bătrân și a crescut pe fundul protoravenei. Linia punctată arată morfologia aparentă a proporavenei înainte de adâncirea unei ravene mai noi (Graf, 1977).

Forma exponențială negativă pentru legea ratei și concordanța strânsă cu datele care arată că ajustările spațiale sau dimensionale în sistemele de ravene au loc după o curbă descrescătoare, sugerează acțiunea unui feedback negativ. Odată ce lungimea ravenei crește, avansarea ravenei are loc mai repede în zona de obârșie, unde sunt disponibile pentru eroziune debite mai mici și cantități mai mari de energie, astfel încât creșterea lungimii dictează descreșterea ratelor de eroziune Rezultatul acestei autoreglări prin bucla de feedback negativ este că ratele de migrare pentru pragurile de obârșie devin din ce în ce mai mici, până aproape de zero și o nouă stare de echilibru devine operantă.

Ecuațiile modelului pot fi utilizate pentru a calcula timpul de înjumătățire, *T*, al fiecărui sistem de ravene folosind aceeași bază de date. Formula după care se calculează este

$$T = (\ln 2)/b$$

b, fiind exponentul ecuației exponențiale.

Tabel 9.4. **Timpul de înjumătățire a lungimii ravenelor din zona Denver, Colorado (Graf, 1977).**

Analiza regresiei			Nivelul de semnificație (α)	Timpul de înjumătățire *T* (ani)
Lungimea potențială de echilibru a ravenei în metri (A_o)	Exponentul (*b*)	Coeficient de determinare (r^2)		
Protoravena: 535,23	0,037	0,98	0,01	18,7
Ravena 1: 475,50	0,045	0,99	0,01	15.4
Ravena 2: 2812,50	0,041	0,97	0,01	16.9

B.C.U. „M. EMINESCU" IAȘI GEOLOGIE-GEOGRAFIE

Rezultatele arată că pentru zona studiată, dacă ar avea loc o perturbare de natură climatică sau antropică, sistemul va răspunde prin formarea unei ravene a cărei jumătate din lungime se va realiza în aproximativ 17 ani, în condițiile unei lungimi potențiale de echilibru a ravenei ce variază între 475 m și 2812 m (tabel 9.4). Trei sferturi din lungime va fi erodată în 34 ani, șapte optimi în 51 de ani și așa mai departe.

Comparația acestor date cu acelea obținute de noi pentru Podișul Moldovei sunt edificatoare ca perspectivă asupra procesului de eroziune a ravenelor pentru două zone climatice atât de diferite, dar în care acționează aceeași lege de evoluție.

9.1.3.2. Clasa modelelor statistice

Modele statistice sunt considerate unele dintre dintre cele mai accesibile instrumente, întrucât ele se rezolvă de regulă cu ajutorul analizei regresiei și corelației. Odată cu disponibilitatea din ce în ce mai mare a calculatoarelor și programelor de regresie, s-a ajuns ca rezolvarea modelelor, oricât de complicate, să se producă cu o viteză de neimaginat. Din această cauză, numeroși autori atrag atenția că există riscul unei colectări nesocotite de date, care poate duce la deformări grosolane în interpretarea rezultatelor. Deși tehnicile în sine ale rezolvării acestor modele sunt absolut obiective, recomandarea generală este că fiecare model trebuie să fie precedat de un "mare efort de gândire" asupra legăturilor cauzale între variabilele incluse în analiză (Hugget, 1985). Aceasta presupune cunoașterea temeinică a domeniului abordat, a teoriei și legităților care acționează în landșaft, astfel încât cercetătorul să fie capabil să facă distincția relațiilor cauzale de cele formale. Așa cum am arătat, un model este numai o imagine limitată a complicatelor relații din lumea reală, deoarece nu pot fi incluși în model toți factorii de control. Funcția matematică optimă este o combinare a cel mult 6 – 8 variabile, astfel ca aceasta să fie practică. Or, trebuie o alegere corectă, bazată din nou pe o cunoaștere foarte apropiată a domeniului studiat.

Relativ la ravene, pentru soluționarea unei astfel de probleme s-a plecat de la premiza că morfologia și depozitele de suprafață ale unui versant însumează variabilitatea pe timp lung a condițiilor hidroclimatice dintr-o regiune dată. De exemplu, mărimea unui bazin de drenaj este în relație directă cu mărimea scurgerii lichide, astfel încât aceasta din urmă poate fi înlocuită cu altă variabilă de aceeași importanță, dar mai ușor de obținut. Așa se explică de ce în modelele empirice realizate până acum (Beer, Johnson, 1963; Thompson, 1964; Seginer, 1966; Poesen, Govers, 1990; Haigh, 1990), variabilele - predictor provin în mare măsură din morfologia versantului și a bazinelor hidrografice mici, și anume:

- aria de drenaj amonte de vârful ravenei
- energia de relief a ravenei
- lungimea și adâncimea ravenelor
- înălțimea pragurilor din talvegul ravenelor
- densitatea drenajului
- panta ravenei

- factorul sol (conținut de argilă, praf, nisip, materie organică, carbonat de calciu, grad de saturare, ș.a.)
- precipitații (suma precipitațiilor în 24 ore)

Se apreciază că împreună aceste variabile explică aproape 80% din variația ratei de creștere a ravenelor și de producere a aluviunilor, prin evacuarea din secțiunea ravenei.

Iată o succintă prezentare a celor mai citate modele statistice:

a) *Modelul Beer și Johnson (1963)* reprezintă prima încercare de a defini cantitativ efectul unei sume de variabile asupra ratei de avansare a vârfurilor de ravenă, motiv pentru care, împreună cu modelul Thompson (1964), a cunoscut de la început o largă circulație în literatura de specialitate, dar și în practica de amenajare și control a terenurilor degradate prin ravene. Autorii au selectat 26 ravene active, adâncite în soluri loessoide și au determinat cât mai exact posibil rata de creștere a suprafeței active a lor, utilizând măsurătorile în teren și aerofotogramele din 1938, 1949, 1961. Pentru fiecare ravenă s-a determinat un set de variabile geomorfometrice, climatice, hidrologice, de utilizare a terenurilor care sunt specificate în tabelul 9.5. Utilizând analiza regresiei și corelației, autorii au obținut o serie de ecuații de predicție privind rata de schimbare în suprafață a ravenelor.

Tabel 9.5. **Ecuații de regresie pentru prognoza modificării în suprafață a ravenelor (Beer, Johnson, 1963)**

Ecuația	Coeficient de determinare (r^2)
$X_1 = -0{,}906 + 0{,}0022\ X_2 - 0{,}0484\ X_3 + 0{,}0098\ X_4 + 0{,}0308\ X_5 - 0{,}0271\ X_6 + 5{,}5209\ X_7$	0,70
$X_1 = -0{,}324 - 0{,}0006\ X_2 - 0{,}0435\ X_3 + 0{,}0063\ X_4 + 0{,}0453\ X_5 - 0{,}0355\ X_6 + 0{,}0013\ X_8 - 0{,}00008\ X_9$	0,84
$X_1 = -1{,}665 - 0{,}0019\ X_2 - 0{,}0495\ X_3 + 0{,}0143\ X_4 + 0{,}0431\ X_5 - 0{,}0814\ X_6 + 5{,}5576\ X_7 + 0{,}0003\ X_9$	0,73
$X_1 = -0{,}526 - 0{,}0017\ X_2 - 0{,}0465\ X_3 + 0{,}0069\ X_4 + 0{,}0533\ X_5 - 0{,}0506\ X_6 - 0{,}2172\ X_7 + 0{,}0013\ X_8$	0,89
$X_1 = -0{,}240 - 0{,}0428\ X_3 - 0{,}0057\ X_4 + 0{,}0443\ X_5 - 0{,}0286\ X_6 + 0{,}0012\ X_9 - 0{,}0013\ X_{14}$	0,89

Coeficienții boldați arată un nivel de semnificație mai mare de 95%.

X_1 = schimbarea în suprafața activă a ravenei (acri × 0,405 ha)

X_2 = suprafața bazinului de drenaj a ravenei (acri × 0,405 ha)

X_3 = Deviația precipitațiilor de la medie (inci × 25,40 mm)

X_4 = Indicele scurgerii de suprafață (inci × 25,40 mm)

X_5 = Lungimea perioadei (ani)

X_6 = Suprafața terasată a bazinului (acri × 0,405 ha)

X_7 = Raportul între lungimea ravenei(L1) la începutul perioadei și lungimea totală (L) de la gura ravenei la cumpăna de ape

X_8 = Lungimea ravenei (L1) la începutul perioadei (picioare × 0,305 m)

X_9 = Lungimea totală (L) de la gura ravenei la cumpăna de ape (picioare × 0,305 m)

X_{14} = Distanța de la vârful ravenei la cumpăna de ape (picioare × 0,305 m)

Calculele au arătat că cea mai bună combinație de variabile se află în ultima ecuație a tabelului, cu un coeficient de determinare de 0,89, deși toate celelalte combinații sunt semnificative din punct de vedere statistic. Pe ansamblu, variabilele cu semnificație maximă în model sunt cele referitoare la suprafața de drenaj a ravenelor, deviația precipitațiilor de la valoarea medie, lungimea ravenelor și scurgerea de suprafață. Alegerea variabilelor independente a fost făcută astfel încât acestea să asigure un grad înalt de explicare a ratei de modificare a suprafeței active a ravenei, pe de o parte, iar obținerea lor să nu necesite un efort material și uman prea mare, pe de altă parte.

b) *Modelul Thompson (1964).* Autorul a eșantionat o populație numeroasă de ravene din mai multe zone morfoclimatice, din care s-au reținut șapte areale cu probleme deosebite în ce privește eroziunea în ravene: Minesota, Iowa, Alabama, Texas, Oklahoma, Colorado. Datele au fost obținute în legătură cu un număr de variabile din bazinul de recepție al ravenei și din ravena propriu-zisă. Diferitele stadii în creșterea ravenei au fost obținute prin zborurile succesive în urma cărora s-au realizat aerofotograme în scara 1/20 000.

În final au fost investigate 29 ravene. Pentru fiecare ravenă s-au măsurat următoarele variabile: 1) suprafața de drenaj deasupra vârfului ravenei; 2) raportul înălțime/lungime a bazinului deasupra vârfului ravenei; 3) lățimea și adâncimea ravenei; 4) înălțimea pragului de obârșie; 5) densitatea de drenaj a bazinului ravenei; 6) circularitatea bazinului; 7) panta în apropierea albiei; 8) precipitațiile atmosferice. Datele au fost analizate prin metoda regresiei multiple. Ecuațiile de regresie rezultate (tabel 9.6) se bazează pe 210 măsurători asupra avansării vârfurilor de ravenă.

Tabel 9.6. **Ecuații de regresie multiplă pentru determinarea ratei de avansare a ravenelor (Thompson, 1964).**

Ecuația	(*n*)	Grade de libertate	(r^2)	(*ES*)	Testul *t*
$R = 24{,}5\,A^{0{,}49}$	210	208	0,55	0,293	t(*A*)= 16
$R = 29{,}0\,A^{0{,}48}S^{-0{,}07}$	210	207	0,55	0,293	t(*S*)= -2,10
$R = 26{,}4\,A^{0{,}46}S^{-0{,}22}P^{0{,}51}$	210	206	0,65	0,258	t(*A*)= 14,3; t(*S*)= -2,10; t(*P*)=7,8
$R = 3{,}49\,A^{0{,}48}S^{-0{,}11}P^{0{,}52}D^{-0{,}20}$	210	205	0,66	0,254	t(*A*)= 14,8; t(*S*)= -1,0; t(*P*)=8; t(*E*)= -2,8
$R = 0{,}15\,A^{0{,}49}S^{-0{,}14}P^{0{,}74}E^{1}$	210	205	0,77	0,209	t(*A*)= 18,6; t(*S*)= 1,5; t(*P*)=13; t(*E*)= 10,5
$R = 0{,}16\,A^{0{,}49}S^{-0{,}14}P^{0{,}74}D^{-0{,}001}E^{1}$	210	204	0,77	0,209	t(*A*)= 18,4; t(*S*)= 1,49; t(*P*)=12,9; t(*D*)=-0,14; t(*E*)= 9.90

Simbolurile folosite sunt: R = rata de avansare a vârfurilor de ravenă, picioare × 0.305 m/an; A = suprafața de drenaj deasupra vârfului de ravenă, în acri × 0.408 ha; S = panta terenului mai sus de vârful ravenei, în procente; D = adâncimea ravenei, în picioare × 0.305 m; $P_{0.5}$ = suma precipitațiilor din 24 ore

egală sau mai mare de 0.5 inci × 25.40 mm; E = factorul sol, respectiv, conținutul de argilă (< 0,005 mm) în procente al profilului de sol prin care ravena avansează.

În tabelul 9.6, alături de ecuațiile de regresie sunt reprezentate și testările statistice. De exemplu, coefientul de determinare, r^2, arată că ecuația 5 este cea mai eficientă, întrucât cele 4 variabile independente explică 77% din varianța ratei de avansare a ravenei. Valoarea testului t pentru fiecare variabilă este tabelată în ultima coloană. Cu aproximativ 200 grade de libertate, o valoare t de aproximativ 1,65 este necesară pentru o variabilă pentru a fi semnificativă la nivelul de 5%. De exemplu, pentru variabila D (adâncimea ravenei), valorile t sunt foarte mici, ceea ce arată că această variabilă nu este semnificativă. Valorile mici ale testului t pentru S arată că este sub semnul întrebării dacă această variabilă este semnificativă la nivelul de 5%. Valorile mari ale lui A, P și E indică că aceste 3 variabile sunt înalt semnificative în ecuația de regresie pentru a exprima rata avansării vârfului ravenei.

Aplicabilitatea modelului Thompson este limitată, ca de altfel toate modelele statistice, la condițiile pentru care s-au realizat eșantionările. Important este că un astfel de model poate fi construit, relativ, ușor pentru oricare regiune de interes în controlul eroziunii în ravene , așa cum vom vedea în continuare. Spre deosebire de modelul anterior, care care este de tip liniar, modelul Thompson încearcă o abordare neliniară a variației ratei de avansare a vârfurilor de ravenă, utilizând modelul funcției de putere și regresia multiplă pas-cu-pas. De asemenea, introduce un alt set de variabile independente în care accentul se pune pe factorul sol în care ravena se adâncește, dar și pe suprafața de drenaj a ravenei care rămâne și de această dată una din cele mai importante variabile ale modelului.

c)*Modelul Seginer (1966)* are la bază următoarea relație:

$$Y = cX_1^{b'} \cdot X_2^{b''} \ldots$$

unde Y este măsura creșterii ravenei, X_1, X_2... sunt factori ce afectează această creștere, iar c și b sunt constante. Relația de mai sus este o funcție de putere asemenea cu cele date de Thompson, rezolvarea ei fiind făcută cu ajutorul regresiei multiple. Autorul a utilizat modelul pentru a calcula ratele de avansare a ravenelor din partea de sud a Israelului, deci condiții semiaride. În această regiune se apreciază că există, în medie, o ravenă pe km^2. Secțiunea transversală tipică a acestor ravene este trapezoidală, iar la obârșia lor au un abrupt clar delimitat. Evoluția acestor ravene este atât de accentuată încât ele reprezintă un adevărat pericol pentru drumuri și construcții subminate de avansarea vârfurilor, pentru terenurile arabile, pentru lacurile de acumulare din avale a căror colmatare crește prin aportul eroziunii în ravene.

Datele obținute din fotografii aeriene, hărți și cercetări de teren au fost folosite în analizele de regresie liniară bazate pe logaritmii variabilelor implicate. Forma generală a ecuației folosite a fost:

$$\text{Log } Y = \log c + b' \log X_1 + b'' \log X_2 + \ldots.$$

Grupul de variabile independente se referă la trăsăturile geometrice ale suprafeței care se drenează în vârful ravenei și anume: suprafața, *A*; lungimea în lungul drenajului principal amonte de vârful ravenei, *L*; diferența de înălțime maximă în bazinul de drenaj, *H*. Analizele de regresie au fost realizate pentru mai multe combinații ale variabilelor *A*, *L* și *H*: *A–L*; *A+H*; *L+H*; *A–L+H*. Dintre toate aceste variabile, variabila *A* este cel mai important factor ce explică deviațiile în jurul mediei.

Datele pentru determinarea modelului au provenit din trei perimetre denumite Bror-Hayial, Ruhama și Tkuma, monitorizate timp de 15 ani. Analiza covarianței log *E* ca funcție a log *A* este dată în tabelul 9.7. Au fost incluse în analiză numai ravenele a căror suprafață de drenaj este mai mare de 5000 m², constatându-se că dacă suprafețele de drenaj sunt mai mici de această valoare, acuratețea rezultatelor are de suferit. Prezentarea grafică a corelațiilor este sugestivă în acest sens (fig. 9.10).

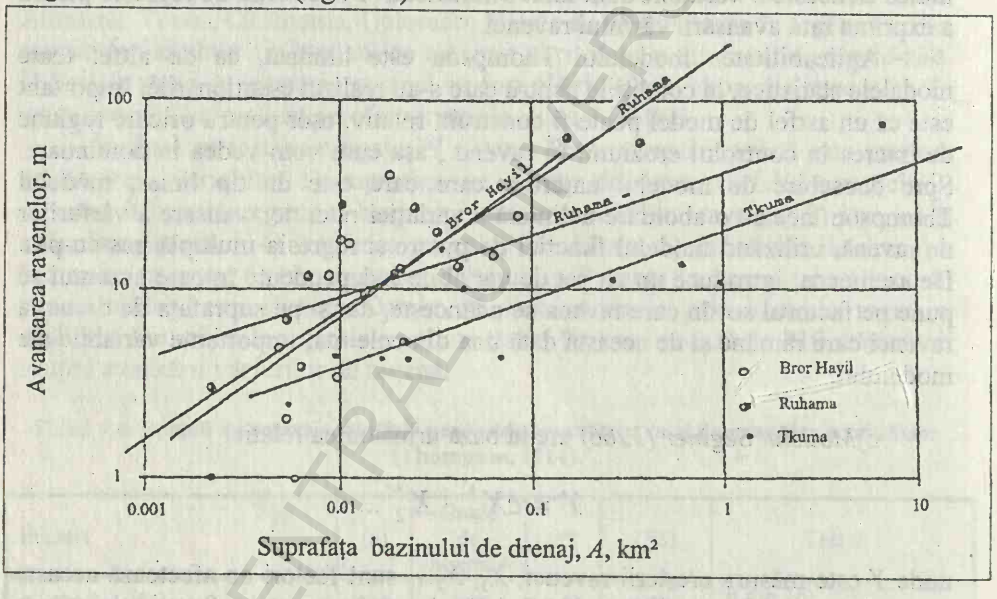


Fig. 9.10. Rata avansării vârfurilor de ravenă în trei perimetre reprezentative din sudul Israelului (Seginer, 1966)

Tabel 9.7. **Analiza covarianței lui log *E* ca funcție a lui log *A* pentru trei perimetre cu ravene din sudul Israelului (Seginer, 1966).**

Sursa variației	Coeficient de regresie, *b*	Suma pătratelor deviației	Grade de libertate	Deviația standard	Coeficient de corelație
Bror-Hayil	0.75	1.491	8	0.431	0.62
Ruhama	0.67	0.953	13	0.270	0.84
Tkuma	0.36	0.440	9	0.223	0.85
Total	0.32	6.104	34	0.368	0.62

BCU CLUJ / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

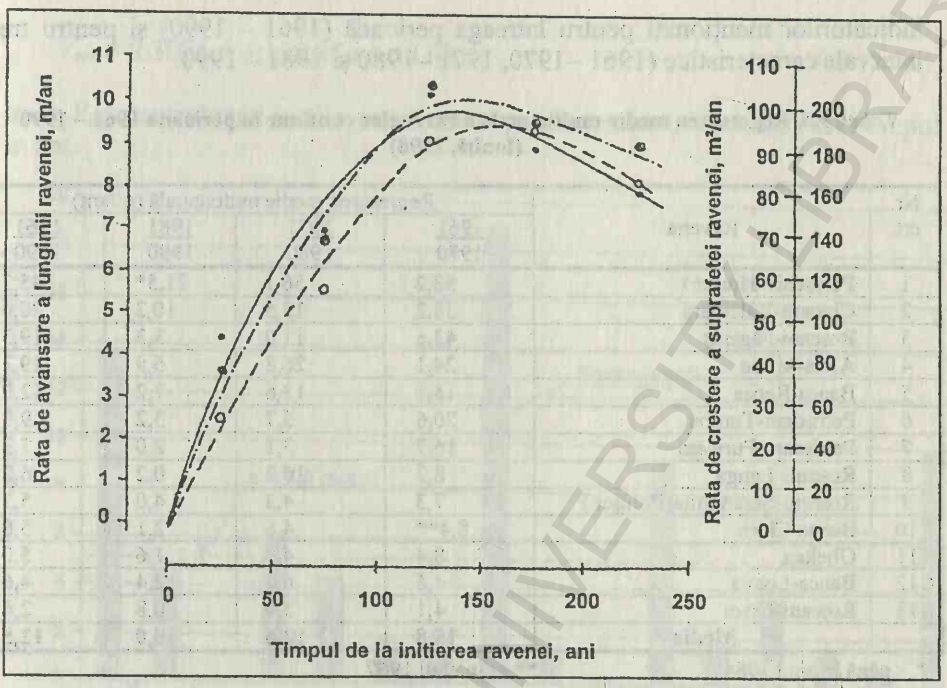


Fig. 9.11. Modelul Seginer de evoluție a ravenei Ruhuma, Israel (Seginer, 1966)

Pe baza modelului de avasare a ravenelor s-a calculat timpul necesar pentru ca ravenele să atingă o anumită lungime. Expresia grafică a variației în timp a ratelor de avansare a ravenelor ca lungime, suprafață și volum este de tip exponențial, adică există o viteză relativ mare în primii ani de la declașarea evoluției ravenei, după care ratele pot stagna sau ravenele pot chiar regresa (fig. 9.11). Situația exemplificată este cea a sistemului de ravene Ruhama, cu un bazin de drenaj de 1,2 km². Se poate observa că pentru această ravenă, procesul de eroziune a trecut deja de faza cea mai activă și acum se află într-un ușor declin.

d) *Modelul Ioniță (1998)* are la bază analiza seriilor de timp aplicate la măsurătorile asupra creșterii în lungime a ravenelor, precum și asupra creșterii suprafeței ocupată de ravene. Am ales exemplul ravenelor continue pentru care autorul a realizat o monitorizare atentă a dezvoltării unui set de 13 ravene în perioada 1961 – 1990 (tabel 9.8). Ele sunt situate în bazine hidrografice mici din Dealurile Fălciului și Colinele joase ale Tutovei. Două bazine au suprafața cuprinsă între 1200 – 2500 ha, cinci între 380 – 560 ha, trei între 130 – 155 ha și trei între 40 – 75 ha. Modul de utilizare a terenurilor este predominant agricol, iar solurile de pădure sunt cele preponderente. Suprafața actuală ocupată de păduri oscilează ca pondere între 10 – 20%.

Prelucrarea datelor a condus la punerea în valoare a trei indicatori specifici pentru estimarea potențialului de ravenare, respectiv, creșterea în lungime a ravenelor, creșterea suprafeței ocupată de ravene și volumul de material solid erodat prin ravenare. S-au calculat valorile medii multianuale ale

indicatorilor menționați pentru întreaga perioadă (1961 – 1990) și pentru trei intervale caracteristice (1961 –1970, 1971 –1980 și 1981 – 1990.

Tabel 9.8. **Regresarea medie multianuală a ravenelor continue în perioada 1961 – 1990 (Ioniță, 1998)**

Nr. crt.	Ravena	Regresarea medie multianuală (m/am)			
		1961 1970	1971 1980	1981 1990	1961 1990
1	Pereschiv-Hreasca	58,2	56,1	21,5*	45,3
2	Chioara-Vâlcioara	38,2	13,5	10,2	20,6
3	Roșcani-Făgăraș	43,6	11,0	3,3	19,3
4	Albia-Mitoc	24,1	26,8	6,9	19,3
5	Banca-Recea	15,1	13,6	7,2	12,0
6	Petrișoara-Tumba	20,6	5,7	3,2	9,8
7	Petrișoara-Puriceni	16,7	3,1	2,0	7,3
8	Roșcani-Langa	8,2	10,2	0,2	6,2
9	Roșcani-Scrânghița(Poligon)	7,3	4,3	4,0	5,2
10	Banca-Chira	8,4**	4,5	2,1	5,0
11	Gheltag	8,4	4,9	1,6	5,0
12	Banca-Loava	4,6	6,7	2,4	4,6
13	Roșcani-Ursoi	4,1	3,0	0,8	2,6
	Media	**19,8**	**12,6**	**5,0**	**12,5**

* – până în anul 1984 **– din anul 1967

Concluziile obținute prin prelucrarea acestor informații au fost grupate de autor astfel:

- toți indicatorii determinați prezintă valori progresiv descrescătoare pe marea majoritate a ravenelor, cu valori medii maxime în prima decadă și minime în ultima decadă;
- rata de avansare în lungime medie multianuală a fost de 12,5 m, fiind mai mare cu 59% în anii '60, asemănătoare în anii '70 și cu 60% mai redusă în anii '80.

Pe baza unor informații suplimentare s-a calculat pentru unele ravene avansarea pe o perioadă mai mare de timp. Astfel, în valea Roșcani – Pogana s-a înregistrat o viteză medie de avansare a vârfului ravenei principale de 20,4 m/an, pe perioada 1930-1956 și 26,5 m/an în intervalul 1956-1960 (deci 21,2 m/an în perioada 1930-1960). Alte valori semnificative sunt consemnate pentru ravenele continue din văile: Hreasca-Pereschiv (23,5 m/an între 1956-1960), Petrișoara – Tumba (16,0 m/an între 1940-1960) și Banca - Recea (14,5 m/an între 1953-1960). Aceste valori ridicate ale ratei de avansare a ravenelor nu fac altceva decât să accentueze amploarea maximului de ravenare din perioada 1960 –1970.

Înregistrările pe perioadă relativ lungă asupra avansării ravenelor au fost utilizate de Ioniță (1998) pentru a obține o serie de funcții polinomiale ale evoluției procesului. Aceste relații sunt următoarele:

$$S_{ma} = 0{,}4998\ t^2 + 16{,}466\ t + 23{,}104 \qquad r^2 = 0{,}992$$

unde S_{ma} este suprafața medie anuală ravenată.

$$V_{ma} = 2{,}3024\ t^2 + 155{,}95\ t + 48{,}683 \qquad r^2 = 0{,}942$$

unde V_{ma} este volumul mediu anual erodat prin ravenare (m/an), iar t este timpul în ani.

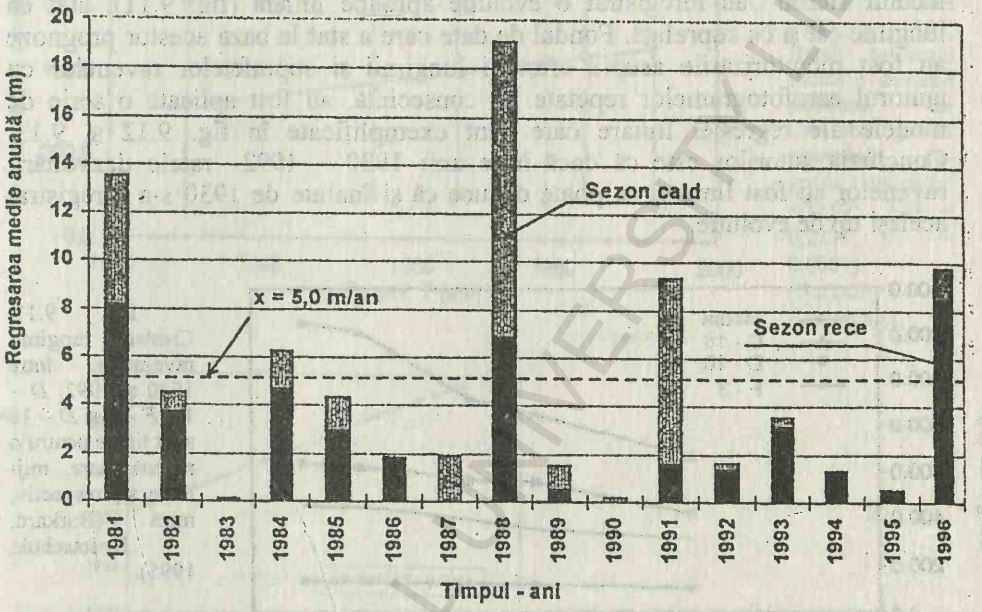


Fig. 9.11. Variația vitezei medii anuale de înaintare a șase ravene continue (Ioniță, 1998).

Analiza înregistrării grafice a seriei temporale a înaintării ravenelor (fig. 9.11) s-a concretizat în observația că regimul mediu anual de ravenare a avut o *comportare pulsatorie*, definită printr-o variație de mare altitudine, de la stagnare până la valori maxime de 19,1 m/an rată de retragere și 304 m²/an suprafață ravenată. Acest regim reflectă convingător regimul climatic, îndeosebi cel al precipitațiilor și cel termic.

Procesele actuale de avansare a ravenelor în condițiile Podișului Moldovei sunt concomitente cu un alt important proces geomorfologic cu extindere largă, cel puțin, la această regiune. Este vorba de un proces de acumulare și supraînălțare a bazei versanților și fundului unor văi, în general, în regiunile de dealuri și podișuri. Observațiile cu privire la fenomenele de "supraînălțare a bazei versanților", "îmbătrânire prematură a rețelei hidrografice", "împotmolire a râurilor" (Filipescu, 1950; Martiniuc, 1954; Sficlea, 1962; Hârjoabă, 1968) pot fi considerate, fără rezerve, drept preocupări în analiza raportului dintre procesele de versant și cele de albie care evidențiază și tendința de formare a glacisurilor (Ichim, 1981).

Vitezele de înaintare a ravenelor anterioare maximului din anii 60' sunt concomitente cu acest proces de "îmbătrânire prematură " a rețelei hidrografice din Colinele Tutovei, semnalat de Filipescu (1950) și cuantificat de Ichim (1981) prin raportul dintre eroziunea mecanică specifică și eroziunea efectivă a versanților dintr-un bazin hidrografic dat. Nu este exclusă posibilitatea ca

defrișarea masivă a pădurilor, însoțită de luarea în cultură a terenurilor pe direcția deal-vale, să fi contribuit la instalarea acestei tendințe.

e) *Modelul Burkard, Kostaschuk (1995).* Spre deosebite de înregistrările asupra evoluției ravenelor din Podișul Bârladului, cele de pe malul stâng a lacului Huron au înregistrat o evoluție aproape liniară (fig. 9.11), atât ca lungime cât și ca suprafață. Fondul de date care a stat la baza acestor prognoze au fost monitorizările asupra creșterii lungimii și suprafețelor ravenelor cu ajutorul aerofotogramelor repetate. În consecință, au fost aplicate o serie de modele ale regresiei liniare care sunt exemplificate în fig. 9.12 și 9.13. Concluzia autorilor este că dacă între anii 1930 – 1992 ratele dezvoltării ravenelor au fost liniare, se poate deduce că și înainte de 1930 s-a înregistrat același tip de evoluție.

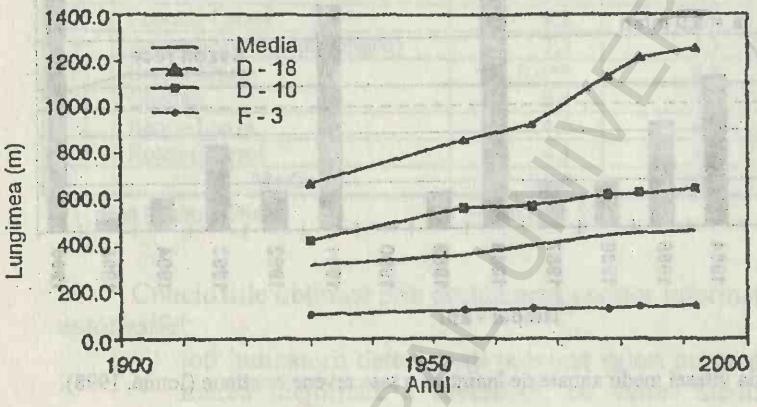


Fig. 9.11. Creșterea lungimii rave-nelor între 1930 și 1992. *D* – 18, *F* – 3 și *D* – 10 sunt tipice pentru o ravenă mare, mij-locie și, respectiv, mică (Burkard, Kostaschuk, 1995).

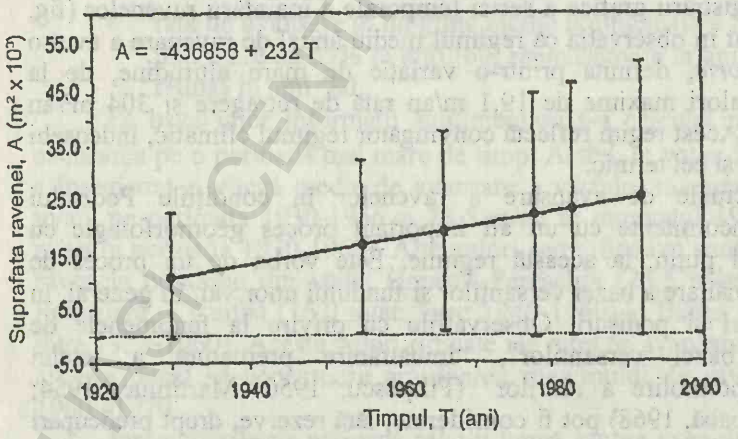


Fig. 9.12. Evoluția suprafeței unui eșantion de 44 ravene între 1930 și 1992. Barele verticale indică o deviație standard, iar linia mai groasă reprezintă regresia datelor (r^2 = 0,99; *ESE* = 5,5954; *p* = 0,0001). (Burkard, Kostaschuk, 1995).

BCU IAȘI CENTRUL UNIVERSITAR

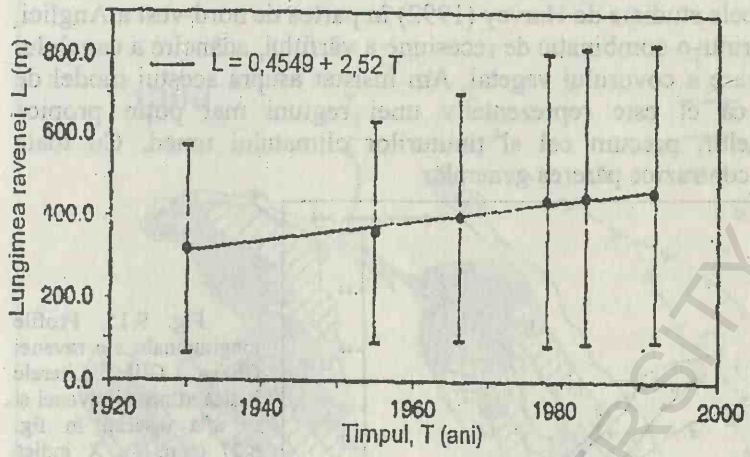
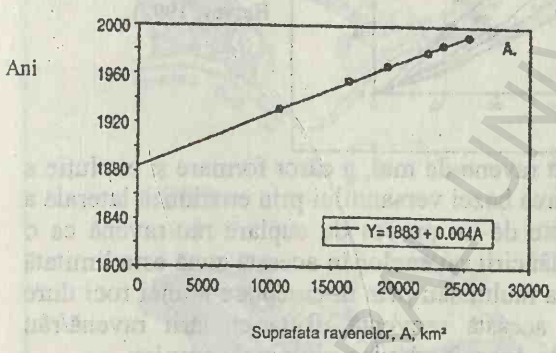


Fig. 9.13. Evoluția lungimii unui eșantion de 44 ravene între 1930 și 1992. Barele verticale indică o deviație standard, iar linia mai groasă reprezintă regresia datelor (r^2 = 0,97; *ESE* = 0,2131; p = 0,0001). (Burkard, Kostaschuk, 1995).



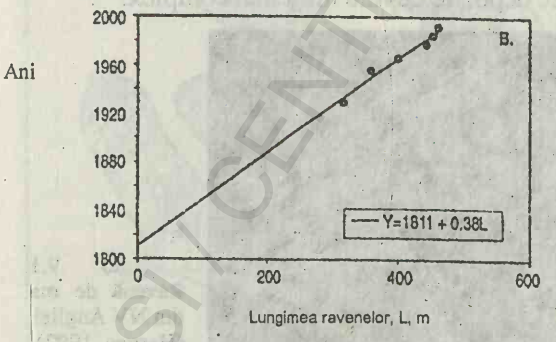


Fig. 9.14. Regresiile liniare ale timpului de evoluție a suprafeței ravenelor (A) și lungimii ravenelor (B). Liniile de regresie au fost extinse pentru a estima timpul de inițiere a ravenelor (Burkard, Kostaschuk, 1995).

Astfel, prin extensia liniilor de regresie s-a determinat că data aproximativă a inițierii ravenelor a fost 1811, dedusă pe baza prognozei lungimii ravenelor și 1880, dedusă pe baza prognozei funcție de suprafața ravenelor (fig. 9.14). Concluzia autorilor este că mijlocul secolului XIX a fost propice dezvoltării proceselor de degradare a terenurilor, întrucât atunci au început defrișările masive și realizarea primelor așezări omenești în zona de studiu.

f) *Modelul Harvey (1992).* În cazul ravenelor de mal de râu, asemănătoare cu cele studiate de Harvey (1992) în partea de nord-vest a Angliei, evoluția are loc printr-o combinație de recesiune a vârfului, adâncire a canalului principal și avansare a covorului vegetal. Am insistat asupra acestui model de evoluție pentru că el este reprezentativ unei regiuni mai puțin propice dezvoltării ravenelor, precum cel al ținuturilor climatului umed. Cu toate acestea, evidența contrazice părerea generală.

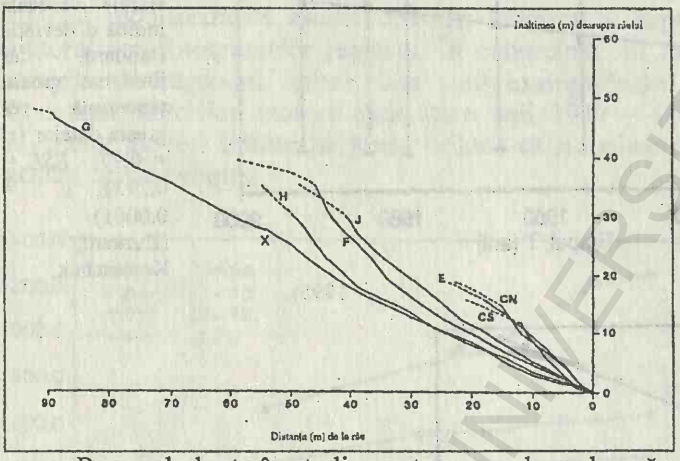


Fig. 9.15. Profile longitudinale ale ravenei Grains Gill. Literele indică afluenții ravenei și se află inserați în fig. 8.27 (cap. 8). X indică eroziune în roca în loc (Harvey, 1992).

Ravenele luate în studiu sunt ravene de mal, a căror formare și evoluție a fost în strânsă corelație cu subminarea bazei versantului prin eroziunea laterală a râului. În acest fel, autorul vorbește de un proces de cuplare râu-ravenă ca o cauză a formării ravenelor. Rata adâncirii ravenelor în această zonă este limitată de o reducere concurentă în puterea râului sau prin interceptare a unei roci dure (ca în ravena G, fig. 9.15). În această secvență, forța cuplării ravenă/râu descrește și sistemul transportului de depozite devine mult mai complex.

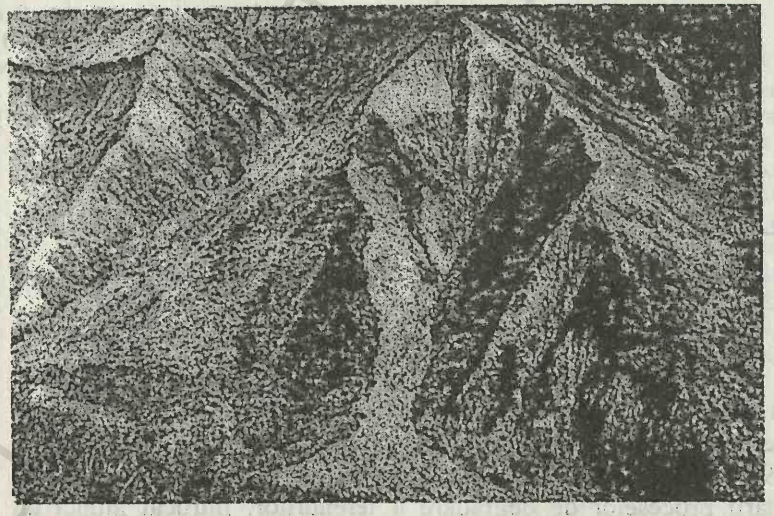


Foto 9.1. Ravenă de mal din NV Angliei (Harvey, 1992)

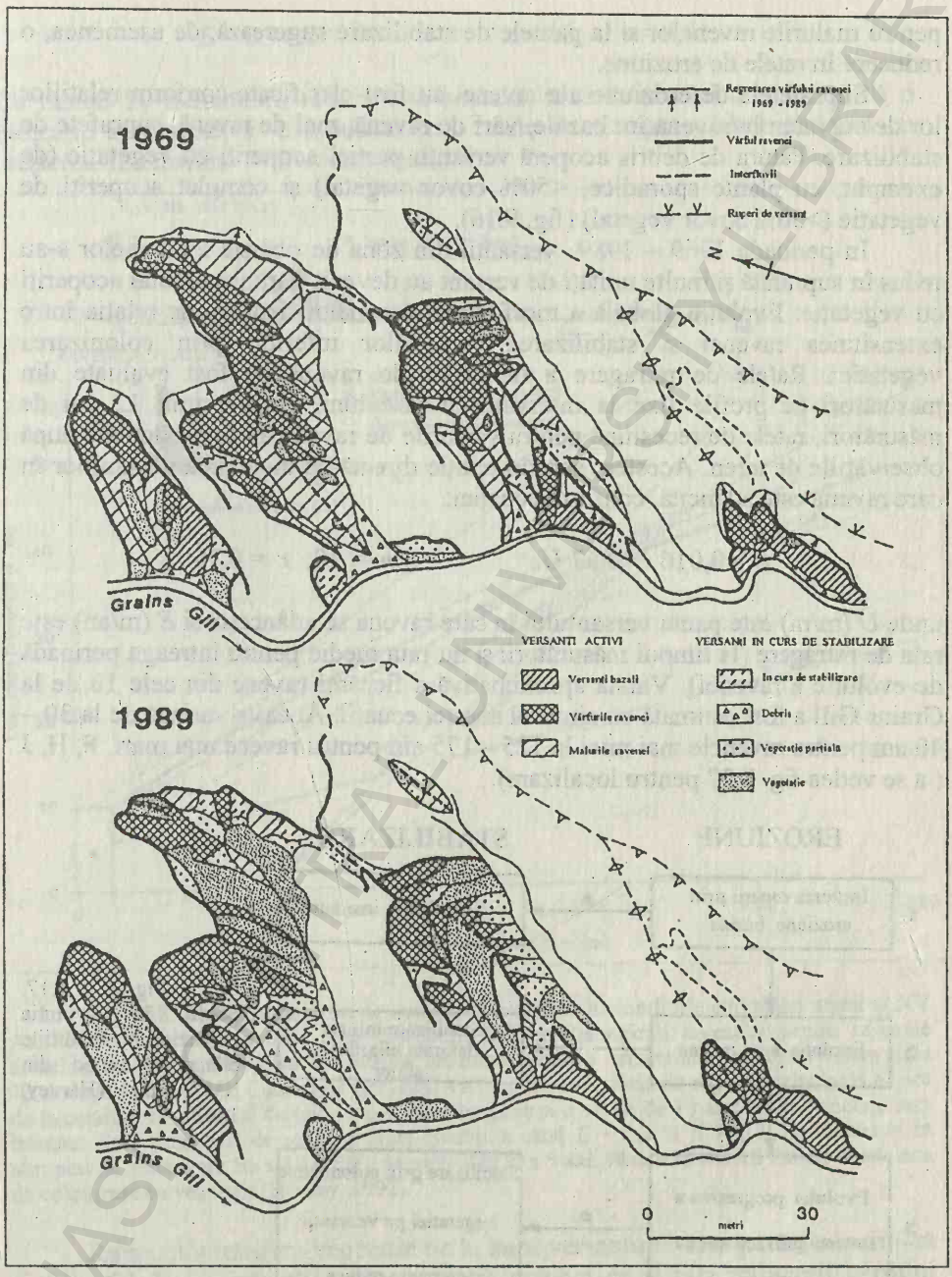


Fig. 9.16. Ravena Grains Gill: evoluția suprafeței ravenei și starea unităților de pantă ale ravenei în perioada 1969 – 1989 (Harvey, 1992).

Reducerea unghiului de înclinare a pantei de la panta inițială de 70° pentru versanții bazali, la 50 - 60° pentru pantele de la obârșia ravenelor, la 40°

pentru malurile ravenelor și la pantele de stabilizare sugerează, de asemenea, o reducere în ratele de eroziune.

Suprafețele de eroziune ale ravenei au fost clasificate conform relațiilor lor de cuplare râu/ravenă în: bazale, vârf de ravenă, mal de ravenă, suprafețe de stabilizare. Pătura de debris acoperă versanții parțial acoperiți cu vegetație (de exemplu, cu plante sporadice, <50% covor vegetal) și complet acoperiți de vegetație (>50% covor vegetal) (fig. 9.16).

In perioada 1969 – 1989 versanții din zona de obârșie a ravenelor s-au redus în suprafață și multe unități de versant au devenit parțial sau total acoperiți cu vegetație. Evoluția globală a morfologiei ravenelor depinde de relația între extensiunea ravenei și stabilizarea versanților inferiori prin colonizarea vegetației. Ratele de retragere a malurilor de ravenă au fost evaluate din măsurători pe profile fixe la intervale de șase luni. După primii 12 ani de măsurători, ratele de recesiune pentru vârfurile de ravenă au fost calculate după observațiile de teren. Acestea sunt în relație directă cu înclinarea versanților în care ravena este adâncită, conform ecuației:

$$E = 0{,}016 + 0{,}57\,U \qquad n = 10,\ r = 0{,}76$$

unde U (m/m) este panta versantului în care ravena se adâncește și E (m/an) este rata de retragere (la timpul măsurătorii și nu rata medie pentru întreaga perioadă de evoluție a ravenei). Vârsta aproximativă a fiecărei ravene din cele 10 de la Grains Gill a fost estimată cu ajutorul acestei ecuații. Aceasta variază de la 30 – 40 ani pentru ravenele mai mici la 125 – 175 ani pentru ravene mai mari, F, H, J (a se vedea fig. 8.27 pentru localizare).

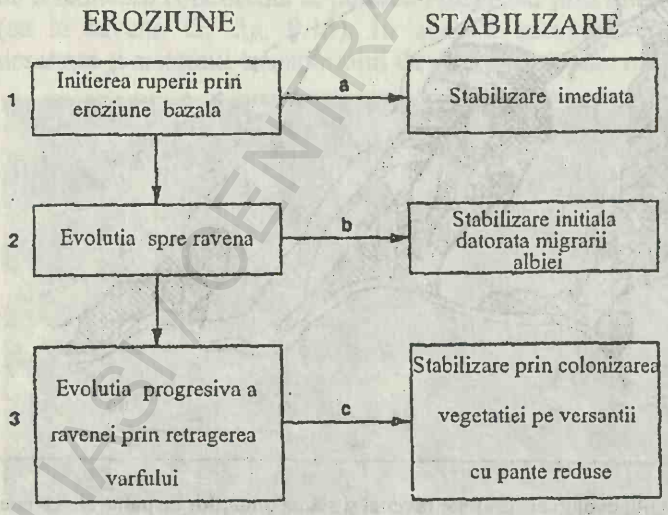


Fig. 9.17. Stadii în evoluția ravenelor în condițiile climatului umed din NV Angliei (Harvey, 1992).

După 20 de ani de măsurători, ratele de retragere ale ravenelor au fost mai mari decât cele obținute după 12 ani, dar aceasta confirmă relația de regresie de mai sus; în plus, s-a constatat o relație semnificativă între rata de retragere a ravenei (E, m/an) și lungimea ravenei (L, m):

$$E = 0{,}94\,L^{-0{,}51} \qquad n = 10,\ r = -0{,}61$$

Cu numai 10 măsurători, relația este semnificativă la nivelul de 10% și dă o indicație aproximativă a modului cum ratele de retragere descresc odată cu creșterea dimensiunii / vârstei ravenelor.

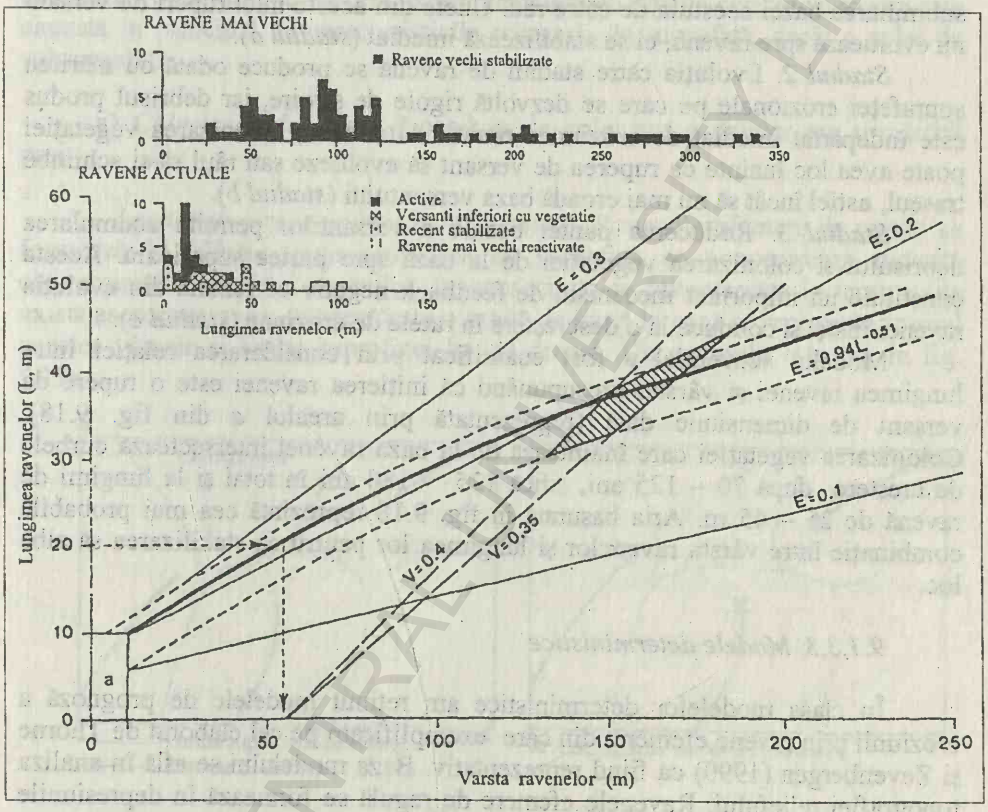


Fig. 9.18. Model generalizat de evoluție a ravenelor în condițiile climatului umed al NV Angliei. Medalioanele inserate arată distribuția frecvenței lungimii ravenelor pentru ravenele actuale și mai vechi. Suprafața *a* semnifică eroziunea bazală a versantului, presupusă a avea circa 10 m după circa 10 ani; *E* este rata retragerii vârfului ravenei; linia de regresie principală pleacă de la condiția că abruptul de inițiere are 10 m lungime și o vârstă de 10 ani; liniile punctate care însoțesc linia principală de regresie arată condițiile când $E = 0{,}1$ și $E = 0{,}3$, presupunând că abruptul de inițiere are 5m x 10 ani și , respectiv, 10 m x 5 ani, văzute ca situații limite; *V* este rata de colonizare cu vegetație (Harvey, 1992).

Rata colonizării cu vegetație de la baza versantului spre partea superioară este la fel de importantă pentru evoluția ravenei ca și rata retragerii vârfului ravenelor. Această concluzie trebuie accentuată în cazul ravenelor care evoluează în condițiile climatului oceanic, umed, unde vegetația are o rată de colonizare cu mult mai mare față de alte regiuni. Măsurătorile realizate în perimetrul Grains Gill au determinat o rată de colonizare a vegetației de 0,35 — 0,4 m/an. Prin considerarea împreună a ratelor de retragere a vârfurilor de ravenă și a ratelor de colonizare a vegetației este posibilă o evaluare corectă, globală a evoluției ravenelor. Modelul de evoluție a acestor ravene de mal,

inițiate de eroziunea laterală bazală indusă de râu, este ilustrat de stadiile descrise în schema din fig. 9.17.

Secvențele de la inițiere la stabilizare sunt văzute ca rezultat al interacțiunilor între tendințele erozionale și cele stabilizatoare.

Stadiul 1. Cauza cea mai probabilă pentru ruperea versantului ar fi subminarea bazei acestuia de către râu. Unele din aceste mici ruperi de versant nu evoluează spre ravene, ci se stabilizează imediat (*stadiul a*).

Stadiul 2. Evoluția către stadiul de ravenă se produce odată cu mărirea suprafeței erozionale pe care se dezvoltă rigole de șiroire, iar debrisul produs este îndepărtat imediat de eroziunea râului. Altminteri, colonizarea vegetației poate avea loc înainte ca ruperea de versant să evolueze sau râul să-și schimbe traseul, astfel încât să nu mai eroadă baza versantului (*stadiul b*).

Stadiul 3. Reducerea pantei bazale a versanților permite acumularea debrisului și colonizarea vegetației de la bază spre partea superioară. Acesta constituie un important mecanism de feedback negativ ce rezultă din evoluția ravenei însăși și conduce la o descreștere în ratele de eroziune (*stadiul c*).

Modelul secvențial a fost cuantificat prin considerarea relației între lungimea ravenei și vârstă, presupunând că inițierea ravenei este o rupere de versant de dimensiune dată (reprezentată prin arealul *a* din fig. 9.18). Colonizarea vegetației care înaintează de la baza ravenei intersectează curbele de creștere după 70 – 125 ani, adică 125 - 180 ani în total și la lungimi de ravenă de 25 – 45 m. Aria haşurată în fig. 9.18 reprezintă cea mai probabilă combinație între vârsta ravenelor și lungimea lor pentru ca stabilizarea să aibă loc.

9.1.3.3. Modele deterministice

În clasa modelelor deterministice am reținut modelele de prognoză a eroziunii prin ravene efemere, din care exemplificăm pe cel elaborat de Thorne și Zevenbergen (1990) ca fiind reprezentativ. Baza modelului se află în analiza topografiei reliefului. Ravenele efemere de regulă se formează în depresiunile joase ale terenului, unde liniile de drenaj ale suprafeței și subsuprafeței converg pentru a produce scurgerea concentrată. Procesul este bine cunoscut și în capitolele anterioare ne-am ocupat de analiza lui. Problema este în ce măsură poate fi introdus într-un model de predicție relativ simplu, fără iterări complicate. Un asemenea model pragmatic și care nu necesită date suplimentare colectate pe perioade extinse este cel prezentat mai jos.

Pentru prognoza puterii de eroziune a scurgerii în orice punct al micilor depresiuni ale versantului se folosește un Indice Topografic Compus (*ITC*) care încorporează suprafața de drenaj din amonte de punctul de interes și panta locală. Împreună, aceste două variabile reprezintă puterea totală a fluxului de apă pe unitate de suprafață. Gradul de convergență a scurgerii (curbura în plan a formelor de relief) la fiecare punct determină concentrarea puterii scurgerii pe suprafața solului. O valoare critică sau prag a *ITC* este necesară pentru ca scurgerea concentrată să inițieze eroziunea ravenei efemere. Această valoare este diferită, depinzând de interacțiunea complexă a variabilelor, incluzând climatul, tipul de sol, tipul culturii, practici de management și conservare. În practică, valoarea critică nu poate fi calculată rezonabil pe principii de bază. Se

utilizează condițiile critice în punctele de vârf de ravenă deja inițiate, utilizând măsurile *ITC*. Dimensiunea ravenei efemere care se prognozează a se dezvolta într-un punct, într-un an mediu este evaluată folosind o ecuație empirică, bazată pe datele colectate de pe parcele experimentale din sud-estul SUA. Se pleacă de la ipoteza că proprietățile litologice și cantitatea de precipitații sunt distribuite aproximativ uniform pe parcela experimentală și că ravena care se va forma este cauzată în principal de caracteristicile scurgerii de suprafață, decât a celei de subsuprafață.

a) *Colectarea datelor.* Procedura de colectare a datelor are următorii pași:

- *Localizarea ravenei/ravenelor efemere.* Ravenele efemere de regulă se formează în vâlcele unde scurgerea de suprafață se concentrează datorită convergenței suprafeței terenului. In consecință, se inventariază în teren unde există asemenea zone, se pregătește o schiță de hartă în care se reprezintă traseul acestor vâlcele și limita suprafeței lor de drenaj. Un exemplu este dat în fig. 9.19a.

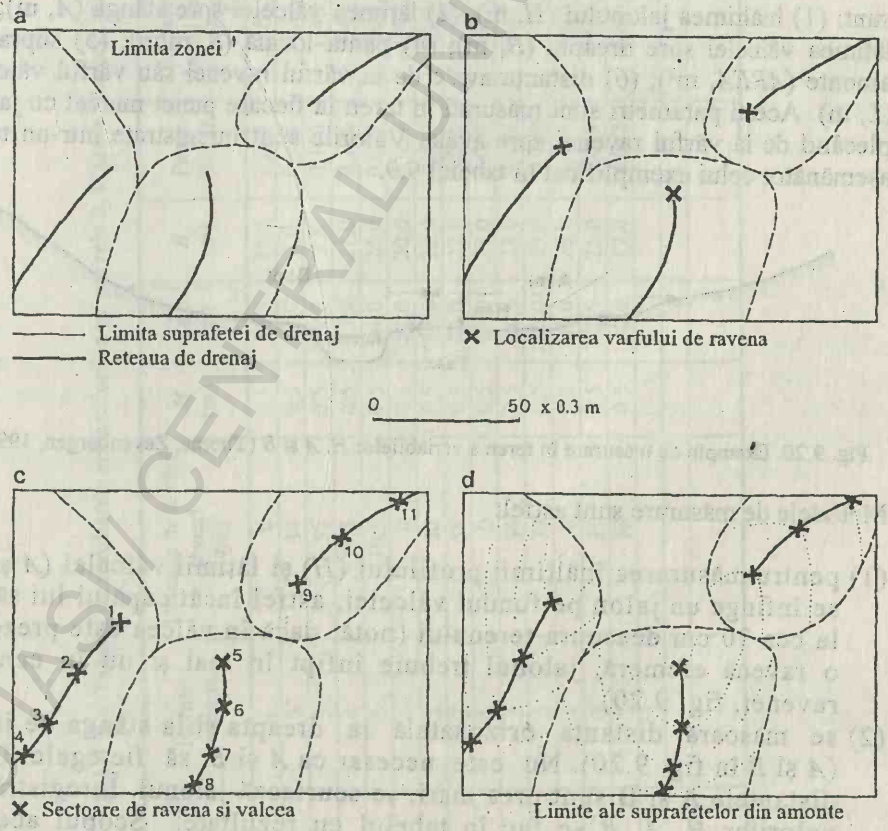


Fig. 9.19. Schiță de hartă pentru colectarea datelor din teren (Thorne, Zevenbergen, 1990).

O anume vâlcea poate sau nu poate conține o ravenă efemeră în timpul cercetărilor de teren, depinzând de mulți factori, cum ar fi timpul din an când se fac anume lucrări agricole, agresivitatea precipitațiilor la un moment dat etc. Fiecare vârf de ravenă este apoi identificat cu un reper (un jalon) care apoi este trecut pe hartă (fig. 9.19 b). Punctele de vârf de ravenă sunt folosite pentru a calibra valoarea *ITC* critică în teren. Metoda este foarte robustă în această privință și nu este foarte senzitivă dacă localizarea vârfului de ravenă nu se face exact. De aceea, informația este necesar să fie colectată cu acuratețe, dar nu în mod special de mare precizie.

- *Selectarea sectoarelor reprezentative.* Se folosesc 2 până la 10 jaloane, unul după altul, pentru a marca cursul ravenelor efemere, de la vârf la punctul unde ele se pierd în teren. Jaloanele vor fi spațiate astfel încât să împartă lungimea în sectoare caracteristice, astfel încât într-un sector, dimensiunea și forma ravenei să fie constante. Vâlcelele care nu conțin ravene sunt în mod similar spațiate cu jaloane, spațierea în acest caz fiind determinată astfel încât vâlceaua să se împartă în sectoare reprezentative de pantă, lățime și adâncime (fig. 9.19 c). În punctele respective vor fi măsurați indicii topografici *ITC*.

- *Măsurarea parametrilor topografici.* Parametrii topografici necesari sunt: (1) înălțimea jalonului (*H*, m); (2) lățimea vâlcelei spre stânga (*A*, m); (3) lățimea vâlcelei spre dreapta (*B*, m); (4) panta locală (*S*, m/m); (5) suprafața amonte (*AREA*, m²); (6) distanța avale de la vârful ravenei sau vârful vâlcelei (*L*, m). Acești parametri sunt măsurați în teren la fiecare punct marcat cu jalon, plecând de la vârful ravenei spre avale. Valorile sunt înregistrate într-un tabel asemănător celui exemplificat în tabelul 9.9.

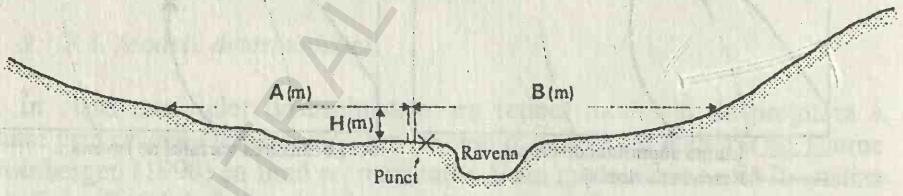


Fig. 9.20. Exemplu de măsurare în teren a variabilelor *H, A* și *B* (Thorne, Zevenbergen, 1990).

Metodele de măsurare sunt astfel:

(1) pentru măsurarea înălțimii profilului (*H*) și lățimii vâlcelei (*A* și *B*) se înfinge un jalon pe fundul vâlcelei, astfel încât capătul lui să fie la cca 30 cm deasupra terenului (notă: dacă în vâlcea este prezentă o ravenă efemeră, jalonul trebuie înfipt în mal și nu în canalul ravenei, fig. 9.20).

(2) se măsoară distanța orizonatală la dreapta și la stânga de jalon (*A* și *B* în fig. 9.20). Nu este necesar ca *A* și *B* să fie egale. Dacă distanțele A și B sunt prea mari, se scurtează jalonul. Înregistrările valorilor *H, A, B* se fac în tabelul cu rezultate. Scopul acestor măsurători este de a defini curbura în plan (*PLANC*) a vâlcelei care controlează convergența scurgerii de suprafață și, în consecință, concentrarea puterii erozive a apei pe unitate de suprafață a patului.

Tabel 9.9. **Tabelul cu rezultatele măsurătorilor pe parcela 3, Warren County, Mississippi (Thorne și Zevenbergen, 1990).**

Nr. ravenă (lungime, m)	Număr secțiune	Distanța de la vârf ravenă (m)	*H* (m)	*A* (m)	*B* (m)	Panta (m/m)	Suprafața de drenaj amonte (mp)	*ITC* (numai pentru vf. ravenă)	*X-AREA*	Volum erodat (mc)
1	1	0	0,5	14,5	15,5	0,064	1481,25	42	0,51	
	2	34	0,5	22,0	7,0	0,074	2637,50		0,67	
	3	55	0,5	20,0	9,8	0,100	3343,75		0,72	
	4	74,5	0,5	33,0	21,0	0,126	3943,75		0,58	
	5	110,5	0,5	24,0	24,0	0,049	5056,25		0,51	67
2	1	0	0,5	12,0	20,0	0,050	3568,75	74	0,59	
	2	20	0,5	17,0	22,0	0,090	4418,75		0,64	
	3	58	0,5	26,0	22,0	0,065	5793,75		0,57	35
3a	1	0	0,5	26,0	28,0	0,029	1612,50	6,4	<crit	
	2	34	0,5	28,0	23,0	0,068	5587,50		0,55	
	3	77	0,5	16,0	29,0	0,079	7537,50		0,67	36
3b	1	0	0,5	21,0	26,0	0,041	3850,00	29	<crit	
	2	31	0,5	13,5	25,0	0,039	5762,50		0,57	
	3	76	0,5	30,0	17,0	0,042	8000,00		0,57	35
								*ITC*cr = 38	T. vol.	4.899 mc
									Supr.	0,526 ha
									Rata Eroz.	11,9 t/ha

(3) panta locală a vâlcelei este măsurată în teren cu un nivelmetru de mână sau poate fi evaluată din ochi de către o persoană cu mare experiență. Panta este un factor important pentru determinarea puterii totale a apei și, astfel, a erozivității scurgerii în suprafață.
(4) pentru a determina suprafața de drenaj la fiecare punct de măsurare este folosită o hartă. Pe baza recunoașterii în teren a formei bazinului de drenaj sunt schițate liniile ce definesc suprafețele de drenaj amonte de fiecare punct de măsurare (fig. 9.21 d). Apoi ele se măsoară cu planimetrul. Este o variabilă importantă întrucât intră în calculul volumului scurgerii la acel punct, care la rândul său, controlează dimensiunea ravenei.
(5) Distanța avale de vârful ravenei/vâlcelei (*L*) este măsurată cu panglica.

b) *Efectuarea calculelor*. Pentru aceasta este necesară cunoașterea setului de ecuații.

-*Ecuațiile de bază* . *ITC* încorporează suprafața amonte (*AREA*), panta(S) și curbura în plan (*PLANC*).

$$ITC = AREA \times S \times PLANC$$

unde *PLANC* = 200H/AB. *ITC* este calculat pentru fiecare punct și valoarea este notată în coloana (9) a tabelului cu rezultate. Valoarea critică a *ITC* este calculată prin medierea valorilor *ITC* pentru toate vârfurile de ravenă din zona studiată, adică:

$$ITC_{critic} = \frac{\sum_1^n (ITC_{vr})}{n}$$

unde ITC_{critic} = valoarea critică a *ITC*; *n* = număr de vârfuri de ravenă; ITC_{vr} = *ITC* pentru vârfuri de ravenă. Punctele cu valori *ITC* mai mici decât valoarea critică sunt excluse din calculele suprafeței secțiunii transversale din cauză că în acel punct nu se poate forma o ravenă efemeră într-un an mediu. Aceasta înseamnă că suprafața de drenaj amonte de acel punct este insuficientă pentru a se concentra o scurgere care să inițieze eroziune.

Suprafața secțiunii transversale (*X-AREA*) pentru ravena efemeră în fiecare punct cu *ITC* mai mare decât valoarea critică este calculată astfel:

$$X - AREA = \frac{(ITC)^{0,25}}{5} m^2$$

Eroziunea în ravena efemeră este calculată prin înmulțirea suprafeței transversale pentru fiecare punct cu lungimea sectorului pe care îl reprezintă. Pentru primul punct de-a lungul ravenei sau vâlcelei:

Volumul erodat$_1$ = (*X-AREA* pct. 1) (Distanța avale la pct. 2/2)

Pentru puncte intermediare:

$$\text{Volumul erodat}_n = (X - AREA \text{ pct } n)\left[\frac{(L_n - L_{n-1})}{2} + \frac{(L_{n+1} - L_n)}{2}\right]$$

Pentru ultimul punct (L):

$$\text{Volumul erodat} = (X - AREA \text{ pct } final)\left[\frac{L_L - L_{L-1}}{2} + (SL - L_L)\right]$$

Rezultatele sunt inserate în coloana 11 a tabelului. Volumul total erodat (în metri cubi) este calculat prin însumarea volumelor obținute pe sectoare pentru întreaga ravenă.

Modelul poate fi mult mai ușor de abordat cu ajutorul unui exemplu; este vorba de perimetrul de cercetări experimentale într-o zonă agricolă din sud-estul SUA, ilustrat în fig. 9.21. Pe hartă au fost identificate vâlcele și ravenele efemere, iar măsurătorile sunt înregistrate în tabelul 9.9.

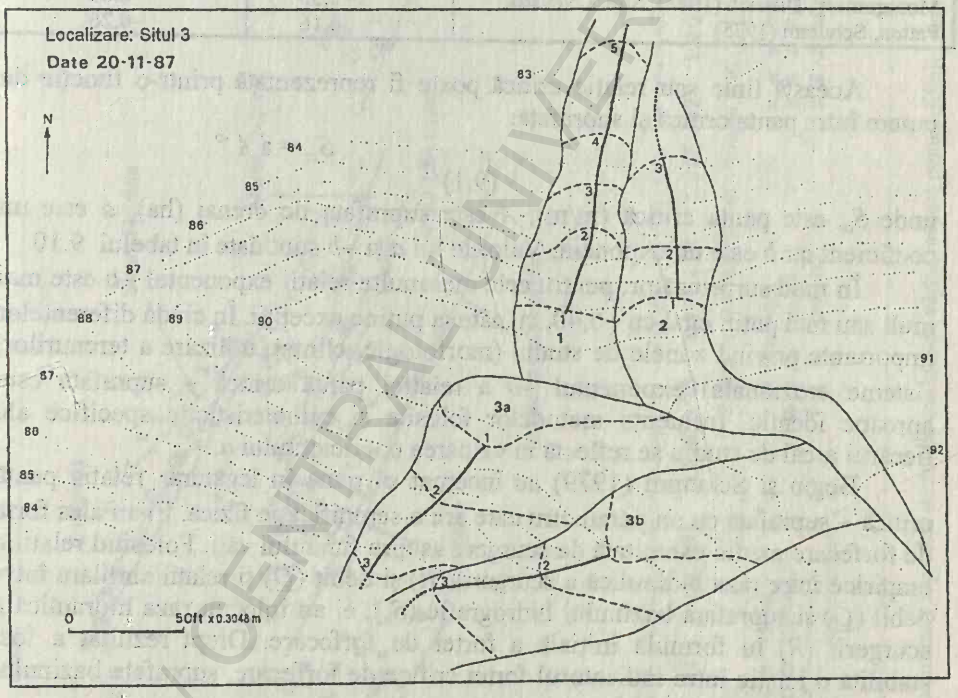


Fig. 9.21. Schiță de hartă pentru exemplul utilizat a ilustra modelul de evaluare a eroziunii în ravene efemere pe terenuri agricole. (Thorne, Zevenbergen, 1990).

Metoda permite estimarea eroziunii în ravene efemere cu o acuratețe de ± 10 % din valoarea reală. Este o metodă de prognoză calificată drept robustă de către inițiatorii ei, deoarece rezultatele sunt relevante chiar dacă datele de teren au o calitate limitată.

Urmărind metoda lui Patton și Schumm (1975), Vandaele et al. (1996) au sintetizat toate informațiile din literatură pe care le-au putut obține și au realizat o reprezentare grafică globală (fig. 9.22). Fiecare set de date este delimitat de o

BCU CLUJ / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

linie care reprezintă limita inferioară a împrăștierii datelor, sub care nu există ravenare.

Tabel 9.10. **Coeficienții *a* și *b* din ecuația (9.1) pentru diferite condiții de evoluție a ravenelor (Vandaele et al., 1996).**

Sursa	*a*	*–b*
Vandaele et al.(1995) Belgia centrală	0,025	de la –0.40 la – 0.35
Govers (1991)	0,0035	–0,40
Poesen et al (1995)	0,08	de la –0.40 la – 0.30
Boardman (1992)	0,09	–0,25
I.G.N. (1983)	0,06	–0,40
Vandaele et al (1995) Portugalia	0,02	–0,40
Montgomery, Dietrich (1988), Oregon	0,25	–0,40
Montgomery, Dietrich (1988), California	0,27	–0,40
Montgomery, Dietrich (1988), Sierra Nevada	0,35	–0,60
Patton, Schumm (1975)	0,16	–0,26

Această linie sau relație critică poate fi reprezentată printr-o funcție de putere între panta critică și suprafață:

$$S_{cr} = a A^{-b} \quad (9.1)$$

unde S_{cr} este panta critică (m/m), A este suprafața de drenaj (ha), a este un coeficient iar b este un exponent. Valorile lui a și $-b$ sunt date în tabelul 9.10.

În mod surprinzător, pentru cele mai multe relații exponentul $-b$ este mai mult sau mai puțin egal cu –0,40, cu câteva puține excepții. În ciuda diferențelor importante privind zonele de studiu (morfologie, climat, utilizare a terenurilor, sisteme erozionale) exponentul $-b$ a relației pantă critică – suprafață este aproape identic. Influența metodelor folosite și caracteristicile specifice ale fiecărui areal de studiu se reflectă în valoarea coeficientului a.

Begin și Schumm (1979) au încercat să pună în legătură relația pantă critică – suprafață cu un parametru care are o semnificație fizică. Ei au ales forța de forfecare medie exercitată de scurgere asupra fundului văii. Folosind relațiile empirice între raza hidraulică a scurgerii (R) și debit (Q) și relații similare între debit (Q) și suprafața bazinului hidrografic (S_b), ei au înlocuit raza hidraulică a scurgerii (R) în formula inițială a forței de forfecare. Drept rezultat a fost stabilită o relație între indicatorul forței critice de forfecare, suprafața bazinului de drenaj și panta văii, de forma:

$$\Gamma_{cr} = (c\gamma)\, S_b^{rf} S \quad (9.2)$$

unde Γ_{cr} este indicatorul forței critice de forfecare, S_b este suprafața bazinului de drenaj (ha), S este panta văii (m/m), rf este un exponent, c este o constantă și γ este greutatea apei pe unitate de volum. Astfel, s-a concluzionat că exponentul $-rf$ a variat între –0,4 și –0,2, asemănător exponentului $-b$ din ecuația (9.1). Aceasta înseamnă că relația inversă între S și S_b poate fi socotită ca o măsură a forței de forfecare ce inițiază ravene și, mai departe, poate fi utilizată în prognoza localizării ravenelor efemere într-un areal dat, de ajutor important pentru cei ce ameliorează și conservă terenurile agricole.

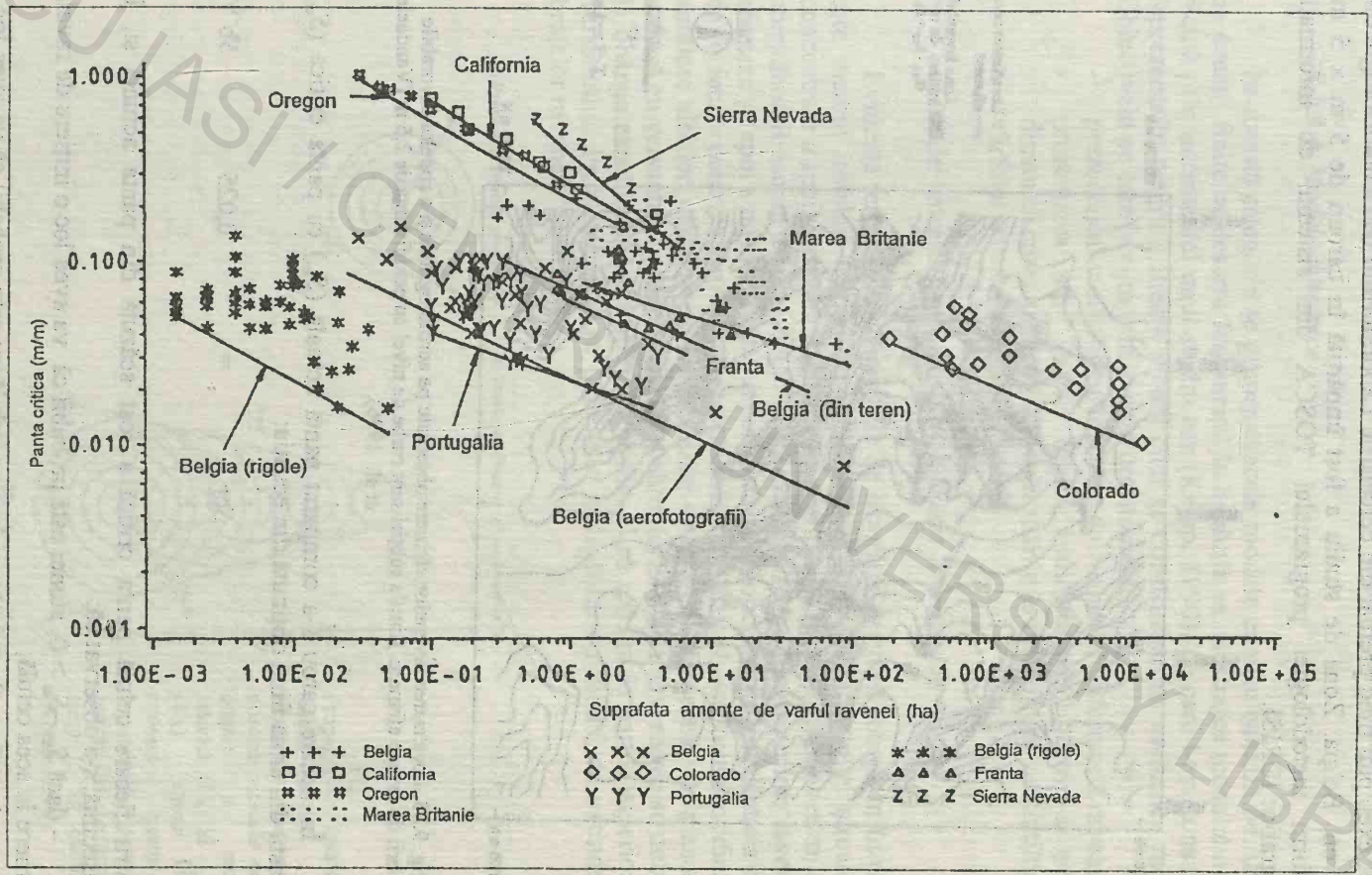


Fig. 9.22. Relația între panta critică și suprafața de drenaj amonte de vârful ravenei pentru diferite zone cercetate (Vandaele et al., 1996).

BCU IAȘI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

Aplicația acestei relații în scopuri predictive este exemplificată în fig. 9.23, exemplul fiind preluat din cercetările Laboratorului de Geomorfologie din Leuven, Belgia. Zona de studiu a fost împărțită în carouri de 5 m × 5 m, conform metodologiei programului TOSCA din sistemul de informații geografice IDRISI.

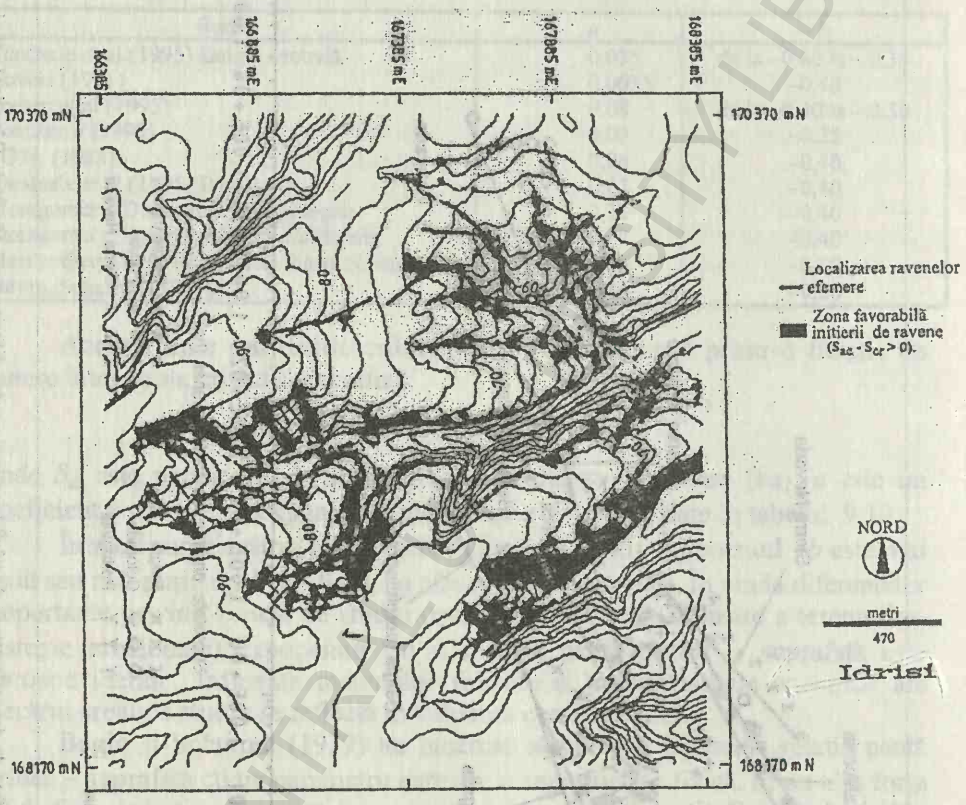


Fig. 9.23. Localizarea ravenelor efemere observate pe aerofotograme și a zonelor favorabile inițierii de ravene efemere. Liniile subțiri sunt curbe de nivel cu echidistanță de 2,5 m (Vandaele et al., 1996).

În fiecare carou s-a comparat panta actuală (S_{ac}) cu panta critică (S_{cr}), aceasta din urmă fiind obținută din ecuația:

$$Scr = 0{,}025\ Sb^{-0{,}40} \quad (9.3)$$

Pentru fiecare celulă panta critică a fost scăzută din panta actuală și, în consecință, s-a observat că:

- dacă $S_{ac} - S_{cr} > 0$, atunci este probabil că va avea loc o inițiere de ravene efemere în acea celulă;
- dacă $S_{ac} - S_{cr} \leq 0$ atunci în acea celulă nu este probabil că va avea loc o ravenare efemeră.

În fig. 9.23 se prezintă localizarea tuturor ravenelor observate, cât și o prognoză asupra zonelor favorabile și probabile de inițiere a ravenelor efemere.

9.1.3.4. Modele dinamice

În această categorie se grupează acele modele care se bazează pe un set de ecuații finite ce descriu fenomenul în evoluția sa. Ilustrarea modelului este făcută prin intermediul unui studiu caz (Kemp, 1990), pe care l-am considerat reprezentativ pentru a ilustra modul cum se construiește un asemenea model. Obiectivele pe care le vom urmări sunt următoarele:

- prezentarea unei scheme teoretice de formare și bifurcare a ravenelor;
- prezentarea unui model digital bidimensional pentru a simula dinamica eroziunii solului și schimbările în morfologia versanților și a vârfului ravenelor.

a) *Model teoretic de formare și bifurcare a ravenelor*

Evidența terenului și cercetările de laborator arată că scurgerea în pânză este inerent instabilă și prezintă tendința de a se diviza în mici șiroaie de concentrare a apei. Precipitațiile, microtopografia și vegetația vor avea un efect considerabil asupra acestei tendințe. Inițierea și evoluția *rill*-urilor, ravenelor efemere și apoi a ravenelor este dependentă de o concentrație suficientă a forței de forfecare pentru a forma o albie definibilă. *Rill*-urile și ravenele sunt dinamic similare albiilor, dar ele sunt caracterizate de curgere efemeră și de o asociere strânsă cu versantul. În ravenele active, abrupturile aproape verticale se dezvoltă la obârșia canalului. Odată abruptul inițiat, el se retrage în partea superioară a versantului. Problema care se pune este în legătură cu modul de extindere a brațelor ravenelor.

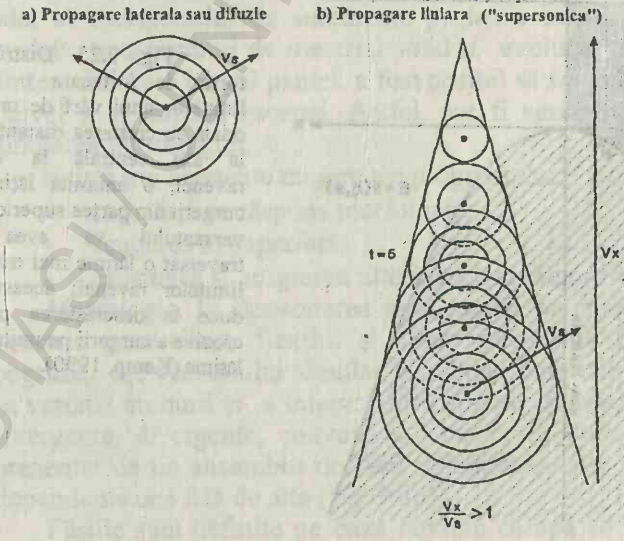


Fig. 9.24. Propagarea laterală și liniară–înainte a eroziunii: când sunt cunoscute vitezele de propagare a eroziunii laterală (*V*s) și liniară (*V*x), atunci forma ravenei poate fi prognozată pentru un număr dat de unități de timp (5 în cazul *b*) (Kemp, 1990).

Thornes (1984) a propus un model analitic în care geometria vârfului ravenei controlează fenomenul de ramificare sau bifurcare. Odată ce perturbarea inițială a apărut sub forma unei ruperi de versant, un puls erozional va traversa sistemul. Să presupunem că forma pulsului este analogă migrării undei de șoc prin versant. Ea este propagată liniar și înainte în lungul liniei de cea mai mare putere erozivă, calculată aici pe unitate de lățime a canalului de pe versant la limita șocului. Scurgerea areală luată ca generator al acestei puteri erozive este considerată a fi ortogonală la curbele de nivel. Curbele de nivel vor migra și ele odată ce eroziunea înaintează. Disiparea laterală a energiei erozionale este controlată de rezistența relativă și coezivitatea materialului din mal.

Odată ce vârful ravenei se localizează într-un punct fix, unda de eroziune se propagă în afară cu o anumită viteză. Dacă aceasta este determinată, în principal, de procese de mișcare în masă, controlate de proprietățile materialului, viteza este *V*s. Dacă ea este controlată de procese de spălare, atunci viteza de propagare este *V*x (fig. 9.24). Când raportul între viteze este mai mare decât unitatea, *V*x/*V*s >1, atunci șocul se deplasează în fruntea undelor propagate spre exterior și timpul pentru lărgirea relativă a albiei este redus. Șocul este "supersonic". Dacă acest criteriu nu este luat în considerare, atunci șocul este "subsonic" și creșterea este influențată de mișcarea laterală a undelor de propagare. În mediile semi-aride componenta liniară–înainte se produce cu intermitență și alte procese cum ar fi meteorizarea, creep-ul, șiroirile locale pot difuza vârful ravenei spre lateral și aceasta mai ales în cazul litologiilor friabile sau pe suprafețele care nu generează multă curgere de suprafață.

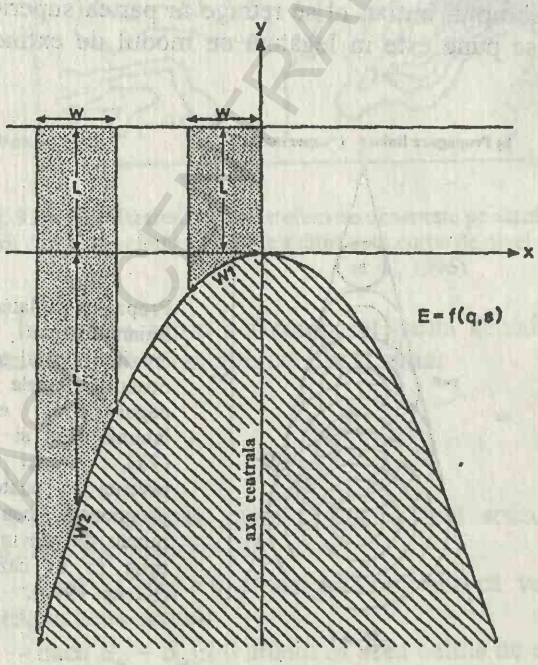


Fig. 9.25. Distribuția forței de forfecare în jurul limitelor unui vârf de ravenă: odată cu creșterea distanței de la axa centrală la vârful ravenei, o anumită lățime a curgerii din partea superioară a versantului va avea de traversat o lățime mai mare a limitelor ravenei; aceasta va duce la descreșterea puterii erozive a curgerii pe unitate de lățime (Kemp, 1990).

S-a arătat că geometria vârfului de ravenă guvernează distribuția forței de forfecare în jurul limitelor ei prin relația spațială cu liniile de curgere ortogonale din partea superioară a versantului. În fig. 9.25 se observă că pe măsura deplasării forței în jurul limitelor vârfului ravenei de la apex spre axa centrală, unghiul în care liniile de curgere intersectează limitele ravenei descresc. Fiecare unitate de lățime a curgerii din partea superioară a versantului are de traversat o lățime progresiv mai mare de ravenă. Astfel, concentrarea puterii erozive în limitele ravenei descrește. Dacă această concentrare a puterii erozive este cea mai mare la apex, extensiunea va continua liniar-înainte. Dacă pe o anumită parte apare o deflecție, atunci poate avea loc ramificarea ravenei.

Thornes (1984) a sugerat că mărimile relative ale migrării laterale și liniare –înainte a malurilor ravenei reprezintă un control critic al bifurcării. Migrarea "supersonică" poate conduce la formarea de canale lungi și înguste, datorită oportunității limitate pentru ramificare. Când există condiții "subsonice", lărgirea canalelor prin prăbușire activă și alte procese de mișcare în masă conduce la mărirea șansei pentru ramificare. Se pot dezvolta rețele dendritice de mare densitate.

b) *Simularea digitală*

Odată ce punctul de bifurcare este atins, problema analitică devine dificilă și o alternativă ar fi soluția numerică prin simulare digitală. Acesta este un instrument important pentru explorarea unor implicații ale unui asemenea model conceptual, astfel încât acesta să fie complet controlat. Modelul este apreciat ca fiind simplu de manipulat și interpretat (Kemp, 1990). Problemele cheie care trebuie puse sunt:

- care va fi forma schimbării ravenei în timp și spațiu?
- în ce circumstanțe se va ramifica ravena?

Pentru a analiza evoluția ravenelor, au fost cuplate un model hidrodinamic și un model al transportului de sedimente pentru a evalua hidraulica scurgerii de suprafață, transportului de material solid și evoluția morfologiei. Prin iterarea sedimentului de-a lungul pantei, a fost posibil să se calculeze migrarea curbelor de nivel și a vârfului ravenei. Astfel, pot fi simulate dinamica proceselor și schimbarea morfologiei.

Există trei elemente majore ale programului:

- suprafața de răspuns morfologic;
- scugerea în suprafață;
- eroziunea și migrarea ulterioară a curbelor de nivel.

Morfologia. În dezvoltarea unui model numeric este necesar un cadru geometric generalizat, flexibil și care poate lua în considerare variațiile topografice ale versantului simulat. Suprafețele inițiale ipotetice sunt construite prin variația curburii și a intervalelor curbelor de nivel. Pantele pot fi planare, convergente, divergente, convexe sau concave. Versantul bidimensional este reprezentat de un ansamblu de fâșii unidimensionale care sunt presupuse a fi independente una față de alta (fig. 9.26).

Fâșiile sunt definite pe baza faptului că apa se scurge ortogonal față de curbele de nivel, pe linia de cea mai mare pantă. În fiecare fâșie sunt definite un număr de celule prin intersecția liniilor de curgere ortogonală și a curbelor de

nivel. Pentru fiecare celulă sunt calculate lungimea, lățimea, panta, suprafața totodată fiind stabilit un parametru de rugozitate a terenului. Aceste celule reprezintă baza pentru soluția numerică a proceselor erozive ce acționează pe versanți.

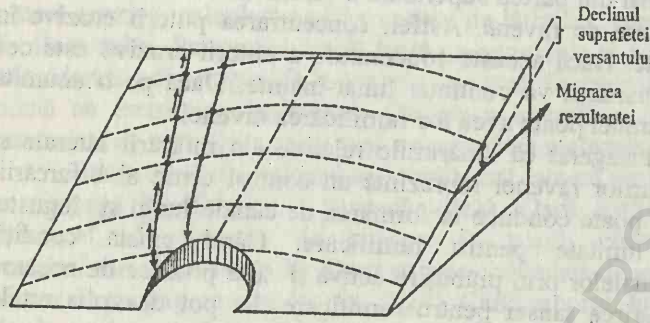


Fig. 9.26. Reprezentarea versantului bidimensional printr-un ansamblu de bazine - fâșii unidimensionale: bazinele fâșii sunt definite de liniile de curgere ortogonale la curbele de nivel și migrarea curbelor este calculată de-a lungul liniilor de curgere ca o funcție a coborârii suprafeței versantului (Kemp, 1990).

Scurgerea de suprafață. Algoritmul eroziune-depunere este componenta secundară a unui model al scurgerii. În aproximarea cinematică a ecuațiilor hidrodinamice, forțele de control sunt gravitația și termenii frecării. Pantele au fost presupuse că variază gradual între 2° și 25°. Forma finală a ecuației, după Kibler și Woolhiser (1970) este derivată dintr-o combinație de ecuații de continuitate și moment:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q$$

unde $A = w\,h$ este suprafața; w = lățimea; h= adâncimea; $Q = A\,u$ este debitul; u = viteza; q = intrările pe unitatea de suprafață; t = timpul; x = distanța. Pentru a elimina una din cele două variabile dependente este adoptată următoarea ecuație:

$$u = n\,h^{m-1}$$

unde n = coeficientul de rugozitate, m = exponent. Făcând înlocuirile în ecuația anterioară, rezultă:

$$\frac{\partial wh}{\partial t} + \frac{\partial wnh^m}{\partial x} = q$$

Modelul presupune că scurgerea în suprafață are loc ca scurgere în pânză turbulentă.

O subrutină bazată pe metoda carcateristicilor a fost implementată pentru soluția aproximării cinematice. Aceasta permite o simulare mult mai precisă a hidrografului decât s-ar realiza prin metoda diferențelor finite. De asemenea, se poate calcula timpul necesar pentru stabilitate. Ecuațiile sunt rezolvate într-o manieră secvențială, astfel că variabila dependentă este determinată pentru fiecare nod al rețelei.

Formularea algoritmului eroziunii. Dacă modelarea scurgerii în suprafață este bine stabilită în literatură, formularea unui algoritm erozional – depozițional este mult mai problematică. Ellison (1946, cit. Kemp, 1990) citează patru situații critice ale procesului de antrenare și transport:

- capacitatea de detașare a agentului eroziv;
- capacitatea de transport a agentului eroziv;
- detașabilitatea solului;
- transportabilitatea solului.

Scurgerea lichidă într-un punct, în timp și spațiu are o energie disponibilă pentru detașarea și transportul particulelor de sol. Foster și Meyer (1975) arată că raportul între debitul solid și capacitatea de transport (un termen relativ al energiei pentru transport) plus raportul între rata de detașare și capacitatea de detașare a particulelor de sol (termen relativ al energiei detașării) este egal cu unitatea, adică este egal cu energia totală disponibilă.

$$\frac{D_f}{D_c}+\frac{G_f}{T_c}=1$$

unde D_c = capacitatea de detașare; D_f = rata detașării prezente; T_c = capacitatea de transport; G_f= cantitatea de sediment aflat în transport.

Rata eroziunii a fost stabilită după ecuația Musgrave (1947), și anume:

$$Y = Q^{1,66}\, S^{1.,5}$$

unde Y = producția de sedimente în $cm^3/cm/an$; Q = debitul lichid; S = panta.

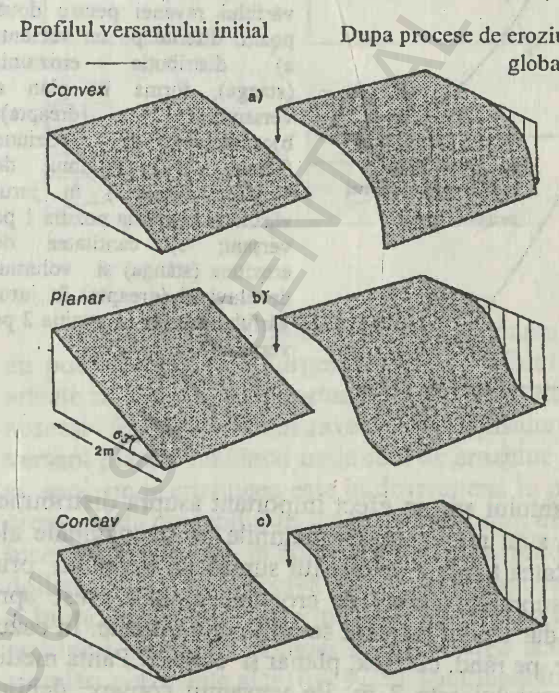


Fig. 9.27. Reprezentări tri-dimensionale ale coborârii generale a suprafeței versantului la finele unei faze de eroziune; morfologia inițială a versantului este arătată în partea stângă, iar rezultanta în schimbarea morfologiei în partea dreaptă (Kemp, 1990).

Această ecuație este folosită în model pentru a estima capacitățile de transport și de detașare ale solului. Ratele de detașare și transport care s-au obținut au fost determinate prin interacția capacităților de transport și de detașare.

Algoritmul eroziune-depunere a folosit valorile debitului pentru fiecare celulă generată de secvența de programare a scurgerii cinematice, parametrii de pantă și sol și concentrații de sedimente pentru diferiți pași de timp. La finele fiecărui eveniment de curgere a fost evaluată schimbarea în morfologie. Coborârea suprafeței terenului este reflectată nu prin schimbarea valorilor de înălțime ale fiecărui nod, ci prin calcularea rezultantei migrării în fiecare nod, în lungul liniilor de curgere ortogonală. Aceasta este ilustrată în fig. 9.26. Prin planimetrarea noilor poziții ale curbelor de nivel, schimbarea este ușor percepută prin deformarea curbelor de nivel.

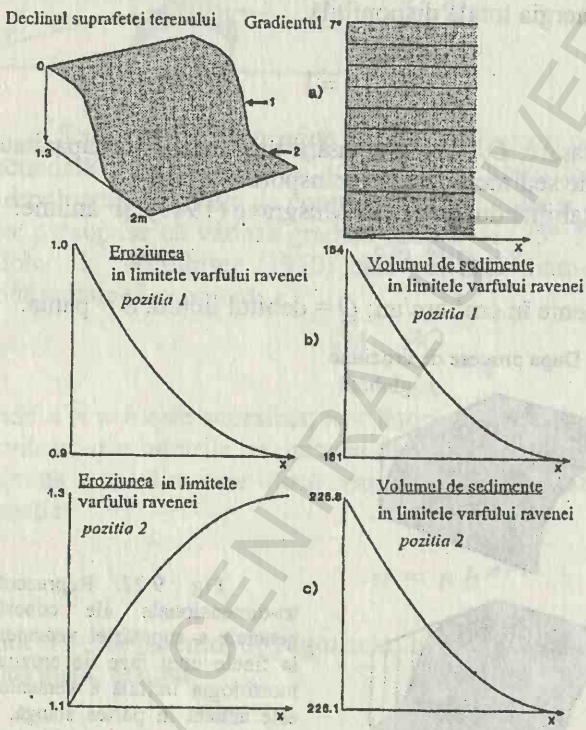


Fig. 9.28. Migrarea vârfului ravenei pentru două poziții diferite pe un versant: a) distribuția eroziunii (stânga), forma în plan a versantului (dreapta); b)cantitatea de eroziune (stânga) și volumul de aluviuni (dreapta) în jurul vârfului ravenei la poziția 1 pe versant; c) cantitatea de eroziune (stânga) și volumul de aluviuni (dreapta) în jurul vârfului ravenei la poziția 2 pe versant (Kemp, 1990).

Simulările. Profilul versantului are un efect important asupra distribuției areale a eroziunii. In fig. 9.27 sunt reprezentate imaginile tridimensionale ale unor versanți ipotetici și cantitatea totală a declinului suprafeței terenului prin eroziune. Pentru toate aceste suprafețe, ratele de eroziune globală cresc spre partea inferioară a versantului, dar tendințele sunt semnificativ diferite. În cazul de față, profilul versantului este, pe rând, convex, planar și concav. Panta medie este de 6,3° iar lungimea versantului este 2 m. Pe versantul convex, debitul lichid și panta cresc spre baza versantului, conducând la o creștere progresivă în cantitatea totală a reducerii în înălțime a suprafeței terenului.

Pe versanții planari, numai debitul crește în josul pantei. Odată cu creșterea capacității de transport nu are loc și o creștere compensatorie cu sediment pentru transport, astfel că se reduce coborârea versantului spre partea inferioară. Pe versanții concavi există o creștere inițială rapidă a eroziunii în direcția versantului, dar aceasta se diminuiază pe măsură ce versantul declină, astfel încât la baza pantei rata de coborâre a terenului începe să descrească.

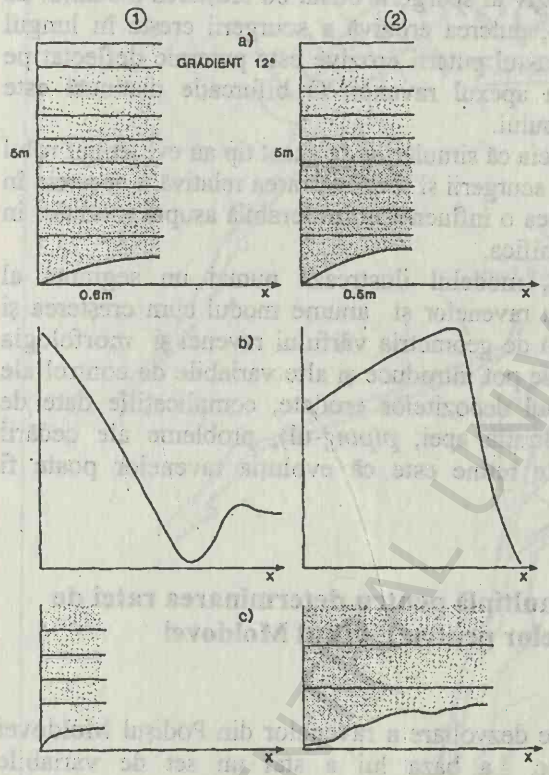


Fig. 9.29. Două diferite vârfuri de ravenă ce avansează în domeniul unui versant cu suprafață planară: a) vedere în plan a versanților 1 și 2; b) cantitatea de eroziune la vârful ravenelor 1 și 2; c)modul de avansare a vârfurilor 1 și 2 (Kemp, 1990).

Dacă se pleacă de la ipoteza că migrarea vârfului ravenei este în legătură cu puterea erozivă a curgerii, poziția vârfului ravenei în relație cu tendințele arătate mai sus este importantă. În cel de-al doilea set de simulări (fig. 9. 28), aceeași formă a vârfului ravenei este considerată în două diferite poziții pe un versant planar; mai întâi unde rata de eroziune este în creștere în direcția pantei și, apoi, unde eroziunea este în descreștere. În primul caz, puterea erozivă a apei crește odată cu debitul în lungul versantului, de asemenea, crește și volumul de încărcătură solidă și în consecință curbura fundului ravenei este diminuată. În al doilea caz, puterea erozivă a apei are o creștere diminuată în lungul versantului și în mod proporțional se întâmplă cu transportul solid. Rezultă o concentrare a eroziunii la apexul ravenei și avansarea acestuia în timp. În setul final de simulări prezentate aici (fig. 9.29), sunt luate în considerare două forme diferite de vârfuri de ravenă pe versanți planari identici, la poziția de creștere a ratei de eroziune în lungul versantului. In primul caz, curgerea are o putere erozivă mai mare la o anumită distanță de apexul vârfului de ravenă, dar în același timp,

aceeași lățime a curgerii din partea superioară a versantului are de traversat o lățime mai mare a patului ravenei. Există un punct în apropierea apexului unde concentrarea scurgerii conduce la un maximum de eroziune. Oricum, tendința nu este puternică și vârful ravenei diminuiază în timp.

În al doilea caz, curbura vârfului ravenei este mai mare și unghiul liniilor de scurgere în lungul ravenei se schimbă mult mai rapid de la apex. Aceasta are efectul diminuării impactului eroziv al scurgerii odată cu creșterea distanței de la axa centrală. În același timp, puterea erozivă a scurgerii crește în lungul versantului și, drept rezultat, focus-ul puterii erozive este puternic deflectat pe măsură ce crește distanța de la apexul ravenei. O bifurcație distinctă este observată la finele rulării programului.

In concluzie, se poate aprecia că simulările de acest tip au evidențiat rolul bilanțului între puterea erozivă a scurgerii și concentrarea relativă a acesteia în limitele ravenei. Acesta poate avea o influență considerabilă asupra modului în care ravena va evolua și se va ramifica.

În forma prezentată aici, modelul ilustrează numai un segmnet al proceselor posibile de evoluție a ravenelor și anume modul cum creșterea și bifurcarea ravenei este controlată de geometria vârfului ravenei și morfologia versantului. În mod asemănător se pot introduce și alte variabile de control ale evoluției ravenei cum ar fi, tipul depozitelor erodate, complicațiile date de procesele de subsuprafață (infiltrația apei, *piping*-ul), probleme ale cedării malurilor etc. Ceea ce se poate reține este că evoluția ravenelor poate fi modelată prin simulări digitale.

9.2. Ecuații de regresie multiplă pentru determinarea ratei de creștere a ravenelor pentru Podișul Moldovei

Pentru prognoza ratelor de dezvoltare a ravenelor din Podișul Moldovei am folosit un model statistic. La baza lui a stat un set de variabile independente, relativ ușor de obținut din teren sau de pe planuri topografice și care să explice într-un grad superior variabilitatea ratei de avansare a ravenelor.

Fondul de date pe care l-am folosit pentru realizarea unui model de prognoză a avansării vârfurilor de ravenă a fost obținut de noi pe baza măsurătorilor în teren în perioada 1986-1992. La un număr de 38 de ravene (tabelul 9.11), am urmărit retragerea vârfurilor, folosind materiale cartografice la scară mare, ridicate în diferite perioade de timp (hărții în scara 1/2000 și 1/5000).

Modelul de regresie multiplă a luat în calcul datele privind aceste ultime 38 de ravene, câteva schițe de amplasare fiind prezentate în figurile 9.30 - 9.31. Au fost exemplificate câteva ravene, selectate pe principiul reprezentativității spațiale. Fiecare din aceste schițe conține configurația în plan a ravenei, lungimea sectorului erodat prin avansarea ravenei și rata de retragere stabilită pe o perioadă de 14 ani.

Geometria ravenelor a fost cuantificată, utilizând metoda secțiunilor transversale, perpendicular pe talvegul ravenei. Criteriul de secționare l-a constituit evidența pragurilor de talveg, iar în situația când distanța dintre

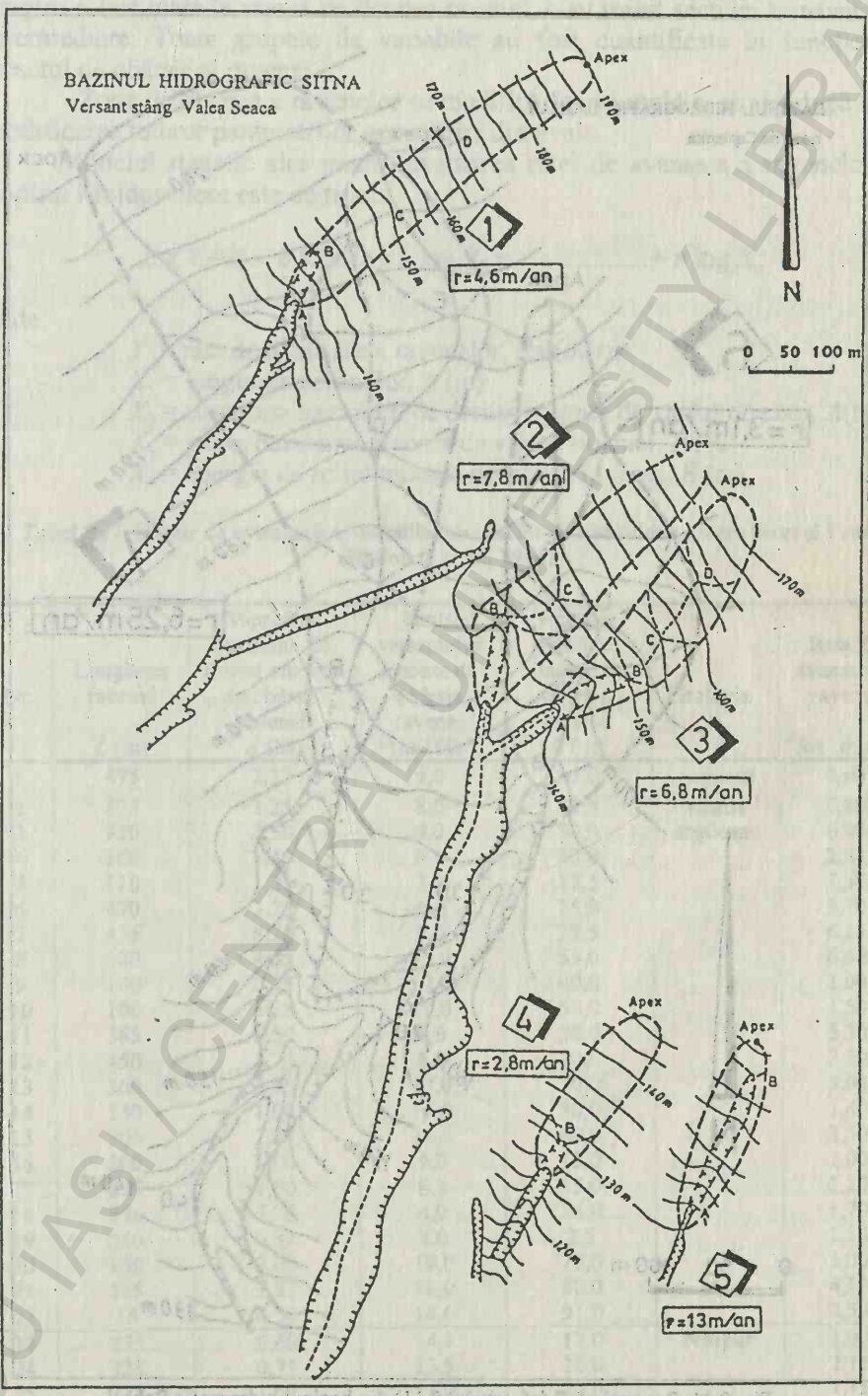


Fig. 9.30. Ravenele 1-5 (cf. tabelul 9.8) din bazinul hidrografic Bahlui.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

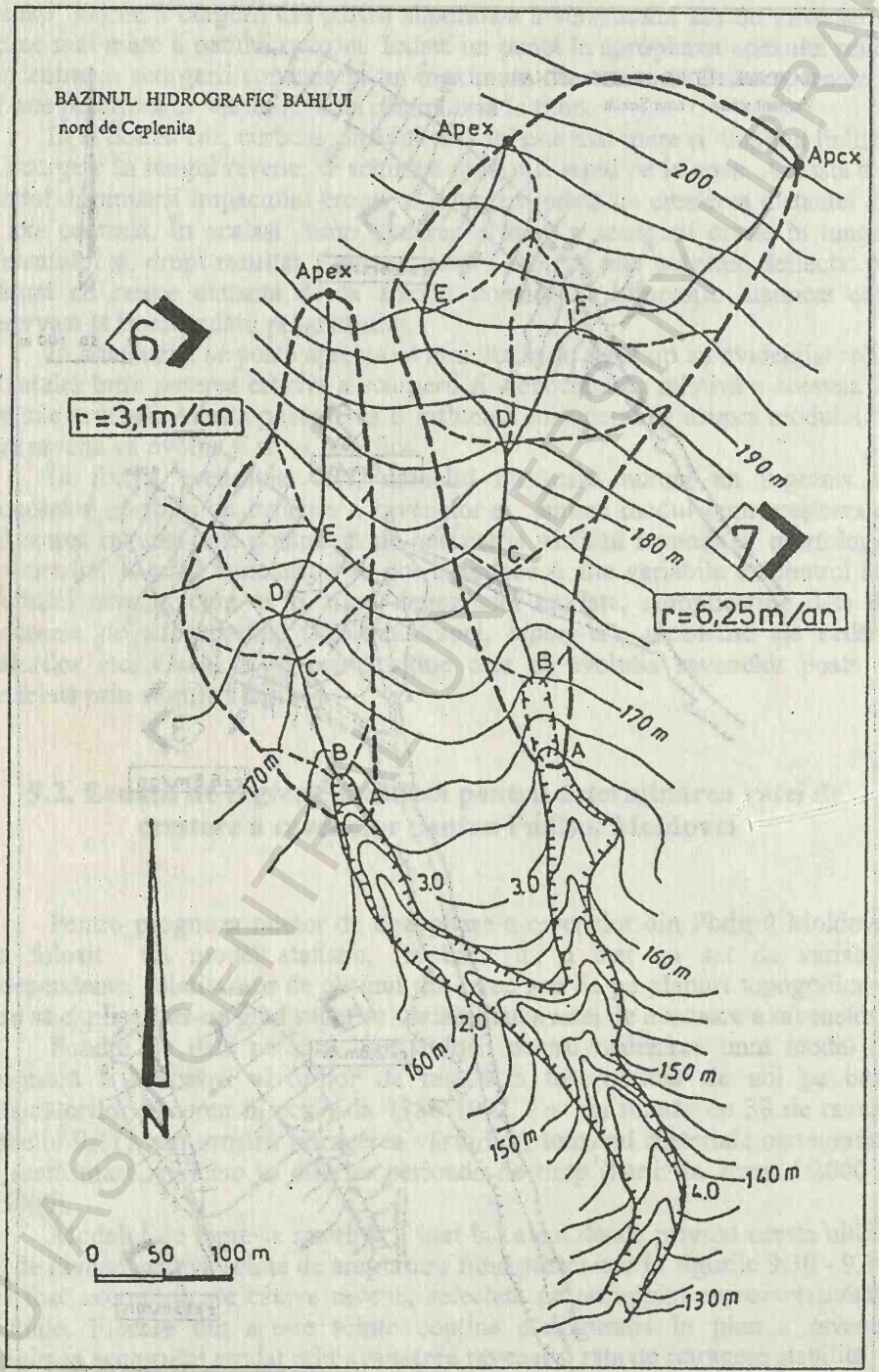


Fig. 9.31. Ravenele 6-7 (cf. tabelul 9.11) din bazinul hidrografic Bahlui.

praguri a fost mare în raport cu lățimea ravenei, s-au trasat secțiuni transversale intermediare. Toate grupele de variabile au fost cuantificate în funcție de punctul de obârșie al ravenei.

Zona de obârșie a ravenelor se modifică foarte rapid și atrage după sine modificarea tuturor parametrilor geometrici din avale.

Modelul statistic ales pentru evaluarea ratei de avansare a ravenelor în Podișul Moldovenesc este de tipul:

$$\log Y = a + b \log X_1 + c \log X_2 + \ldots\ldots\ldots\ldots + n \log X_n$$

unde:

Y = rata de avansare a ravenelor, Ra (m/an)
X_1 = lungimea ravenelor, L (m)
X_2 = suprafața bazinului de drenaj amonte de vârful ravenei, A(ha)
X_3 = panta bazinului amonte de vârful ravenei, P (%)
X_4 = energia de relief amonte de vârful ravenei, E (m)

Tabel 9.11. **Ratele de avansare a obârșiilor ravenelor din Moldova dintre Siret și Prut (Rădoane et al., 1996)**

Nr.	Lungimea ravenei L (m)	Suprafața bazinului de drenaj amonte de obârșia ravenei A (ha)	Panta versantului amonte de obârșia ravenei P(m/100m)	Energia reliefului amonte de obârșia ravenei E (m)	Litologia	Rata de avansare a ravenei RA (m/an)
1	475	2,37	9,0	45,0	Argile și	4,60
2	875	3,25	8,0	32,5	marne	7,80
3	920	2,50	9,0	30,0	argiloase	6,80
4	160	1,40	9,0	20,0		2,80
5	110	1,25	7,0	17,5		1,30
6	470	3,75	6,0	25,0		3,10
7	435	8,25	7,0	37,5		6,25
8	380	4,65	13,0	55,0		6,40
9	100	0,75	17,0	40,0		1,60
10	100	1,25	18,0	50,0		1,50
11	385	0,50	9,6	30,0		5,30
12	450	1,25	6,0	20,0		2,50
13	360	3,75	17,0	70,0		5,00
14	150	1,00	14,0	30,0		1,40
15	300	2,25	14,0	60,0		3,50
16	200	1,00	9,0	15,0		1,00
17	275	1,00	8,5	15,0		1,20
18	356	5,75	4,0	26,0		1,70
19	540	6,37	2,0	2,5		1,10
20	150	2,00	19,0	70,0		1,00
21	125	1,87	18,0	80,0		4,10
22	55	4,50	14,0	91,0		7,50
23	275	0,60	14,7	17,0	Nisipuri	1,00
24	325	0,75	13,5	25,0		2,15
25	375	1,37	11,0	20,0		1,75
26	295	0,67	12,0	15,0		1,50
27	350	4,17	13,0	25,0		5,50
28	340	1,70	15,0	28,0		3,37

BCU IAȘI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

29	390	6,20	5,0	35,0		5,90
30	90	1,10	9,0	25,0		1,55
31	100	1,10	10,0	30,0		1,75
32	125	1,70	8,7	35,0		3,00
33	125	1,20	8,7	35,0		2,60
34	320	2,35	8,6	25,0		2,20
35	225	2,50	18,0	50,0		2,75
36	270	0,92	10,0	37,5		1,76
37	250	1,87	10,0	37,5		2,00
38	250	1,00	14,0	25,0		3,23

Variabilele independente sunt înlocuitori ai mărimii scurgerii lichide și vitezei cu care aceasta se poate concentra în punctul de obârșie al ravenei.

În urma testării unei largi varietăți de modele statistice, am ales în final, modelul cu cea mai mare eficiență, atât din punct de vedere al inferențelor statistice, cât și din punct de vedere al particularităților de aplicare. Etapele de lucru au constat în:

a) testarea normalității datelor;

b) obținerea matricelor de corelație între variabilele investigate;

c) realizarea modelului propriu-zis cu ajutorul tehnicii regresiei multiple pas-cu-pas;

Rezultatele sunt date în tabelele 9.12, 9.13 și 9.14. Pe baza lor conchidem că:

- *pe roci marno - argiloase*, ravenele investigate au o lungime medie de 335 m, o suprafață medie a bazinului de drenaj amonte de vârful ravenei de 2,76 ha, o pantă medie a versantului de 10,82 m/100 m și o energie de relief de 39,2 m. Repartițiile mulțimii de valori sunt asimetrice de dreapta, cu excepția pantei versantului, care are o ușoară asimetrie de stânga. Această distribuție justifică normalizarea datelor prin logaritmarea valorilor cu logaritmul în baza 10. Rata de avansare a ravenelor pe acest tip de roci este în medie de 3,52 m/an, dar 40% din valori sunt sub 1m/an. În setul de date considerat există 4 ravene cu rate mai mari de 6 m/an și care au caracteristici ce le apropie mai mult de ravenele de vale, încât pentru această grupare litologică, considerăm semnificative ratele de avansare de sub 1 m/an;

Tabelul 9.12. **Matricea coeficienților de corelație a variabilelor intrate în modelul de regresie multiplă a creșterii ravenelor pe roci marno - argiloase (Rădoane et al., 1996)**

a) valori reale

	L (m)	Sa (ha)	P (%)	E (m)	Ra (m/an)
L (m)	1				
Sa (ha)	0,212	1			
P (%)	-0,510	-0,133	1		
E (m)	-0,320	0,305	0,781	1	
Ra (m/an)	0,511	0,633	-0,006	0,427	1

b) valori logaritmate

	log*L* (m)	log*Sa* (ha)	log*P* (%)	log*E* (m)	log*Ra* (m/an)
log*L* (m)	1				
log*Sa* (ha)	0,173	1			
log*P* (%)	-0,525	0,128	1		
log*E* (m)	-0,325	0,564	0,836	1	
log*Ra* (m/an)	0,405	0,737	0,017	0,374	1

- *pe roci nisipoase* ravenele investigate au o lungime medie de 257 m, o suprafață medie a bazinului de drenaj de 1,82 ha, o pantă a versantului de 11,32 m/100 m, o energie de relief de 29 m. Rata de avansare a ravenelor este în medie de 2,63 m/an. Repartițiile mulțimii de valori sunt de asemenea asimetrice de dreapta, cu excepția pantei versantului ravenat, ceea ce îndreptățește normalizarea cu ajutorul logaritmului în baza 10;

Tabel 9.13. **Matricea coeficienților de corelație a variabilelor intrate în modelul de regresie multiplă a creșterii ravenelor pe roci nisipoase din Podișul Moldovei (Rădoane et al., 1996)**

a) valori reale

	L (m)	*Sa* (ha)	*P* (%)	*E* (m)	*Ra* (m/an)
L (m)	1				
Sa (ha)	0,429	1			
P (%)	0,145	-0,346	1		
E (m)	-0,276	0,314	-0,022	1	
Ra (m/an)	0,387	0,880	-0,178	0,257	1

b) valori logaritmate

	log*L* (m)	log*Sa* (ha)	log*P* (%)	log*E* (m)	log*Ra*(m/an)
log*L* (m)	1				
log*Sa* (ha)	0,264	1			
log*P* (%)	0,170	-0,407	1		
log*E* (m)	-0,258	0,486	-0,191	1	
log*Ra* (m/an)	0,267	0,820	-0,247	0,435	1

Tabel 9.14. **Ecuațiile de regresie multiplă pas cu pas ale ratei de avansare a ravenelor din Podișul Moldovei (Rădoane et al., 1996)**

A) Roci marno - argiloase

Variabila dependentă	Inter-cept	Coeficienții variabilelor independente				Coeficientul de corelație (r)	Coeficientul de determinare (r^2)	*n*
		log*A*(ha)	log*L*(m)	log*E*(m)	log*P* (%)			
Rata avansare ravenă *Ra*(m/an)	0,1600	0,7887				0,737	0,543	22
	-0,6168	0,7357	0,3271			0,789	0,623	22
	-1,0381	0,6276	0,4059	0,1736		0,797	0,636	22
	-1,0317	0,6127	0,4023	0,2091	-0,0457	0,797	0,636	22

B) Roci nisipoase

Variabila dependentă	Interceptul	Coeficienții variabilelor independente				Coeficientul de corelație (r)	Coeficientul de determinare (r^2)	*n*
		A(ha)	*L*(m)	*E*(m)	*P*(%)			
Rata avansare ravene *Ra*(m/an)	0,9441	0,9559				0,913	0,833	16
	1,1009	0,9671	-0,0061			0,914	0,835	16
	0,6101	1,0019	-0,0076	0,0415		0,917	0,841	16
	0,7821	1,0444	-0,0124	0,0518	-0,0008	0,918	0,843	16

- cea mai importantă variabilă independentă în controlul ratei de avansare a ravenelor este *suprafața bazinului de drenaj amonte de vârful ravenelor* care explică 54% din variabilitatea acestui parametru pe roci predominant marno-argiloase și 68% pe roci predominant nisipoase. Din acest motiv a fost prima variabilă intrată în modelul regresiei multiple;

-contribuția celorlalte variabile este mai redusă și ele au intrat în model în funcție de cantitatea de varianță explicată.

În cazul modelului pentru ravenele dezvoltate pe roci predominant marno-argiloase, variabilele intrate sunt următoarele: lungimea ravenei, energia bazinului și panta bazinului amonte de vârf. În cazul ravenelor dezvoltate pe roci predominant nisipoase, ordinea variabilelor intrate în model este: suprafața bazinului de drenaj, energia bazinului, lungimea ravenei și panta bazinului. Contribuția lor la îmbunătățirea modelului nu este prea importantă, așa cum arată indicatorii statistici din tabelul 9.14, încât eficiența modelului rămâne înaltă chiar dacă se consideră numai primele două variabile independente.

9.3. Timpul de avansare a ravenelor

Modelul de regresie multiplă prezentat poate fi utilizat la calculul timpului de avansare a unei ravene oarecare, dacă aceasta se consideră că evoluează în condiții naturale. Conform modelului, cu cât suprafața bazinului crește, cu atât timpul de avansare se reduce. Diferențierea timpului este impusă de tipul substratului litologic (în cazul de față marno - argilos sau nisipos). Aplicarea modelului s-a făcut pentru cele 38 de ravene măsurate, pentru care s-au parcurs următorii pași (conform tabelului 9.15 – anexă):

- sectorul de ravenă A - B corespunde cu lungimea de ravenă erodată într-o perioadă cunoscută de timp, în cazul nostru între 1960-1973, în total 14 ani (coloana 2, tabel 9.15);

- în al doilea pas se împarte distanța de la vârful ravenei până la punctul de echilibru (*apex*) în mai multe sectoare de pante uniforme. Delimitarea acestor sectoare se face pe baza inflexiunii curbelor de nivel și a ruperilor de pantă (col. 3);

- se măsoară lungimea fiecărui sector în metri (col. 4);

- se planimetrează suprafața bazinului de drenaj, amonte de fiecare punct (col. 5);

- în coloana 6 se calculează valoarea medie a suprafeței de drenaj, în felul următor:

$$S_{b\ medie} = [S_b(\text{în punctul A}) + S_b(\text{în punctul B})]/2$$

- în coloana 7 se calculează valoarea lui S_b unde:

S_b medie = (suprafața medie de drenaj a sectorului din amonte) / (suprafața medie de drenaj a sectorului A - B)

- în coloana 8 se calculează S_b exponent 0,38, acesta din urmă fiind unul din exponenții ecuațiilor obținute de noi prin modelul regresiei;

- R_A din coloana 9 este rata de avansare a ravenelor în perioada măsurată; unde R_A = (lungimea ravenei în perioada 1960-1973, metri) / timp (ani)

- R_f = (col. 8) x (col. 9). Rezultatul (m /ani) se trece în coloana 10

- timpul de avansare a ravenei din coloana 11 se calculează după formula:

$$T = (\text{col. 4}) \times (\text{col. 10})$$

- timpul total necesar ca ravena să atingă apexul sau punctul de echilibru se află cumulând valorile din coloana 11, rezultatul fiind dat în coloana 12.

Concluziile modelului sunt cuprinse în ilustrațiile din figurile 9.32. și 9.33. în care sunt calculate lungimile medii ale ravenelor pe măsura creșterii vârstei acestora, pentru două zone litologice dominante ale Moldovei între râul Siret și Prut.

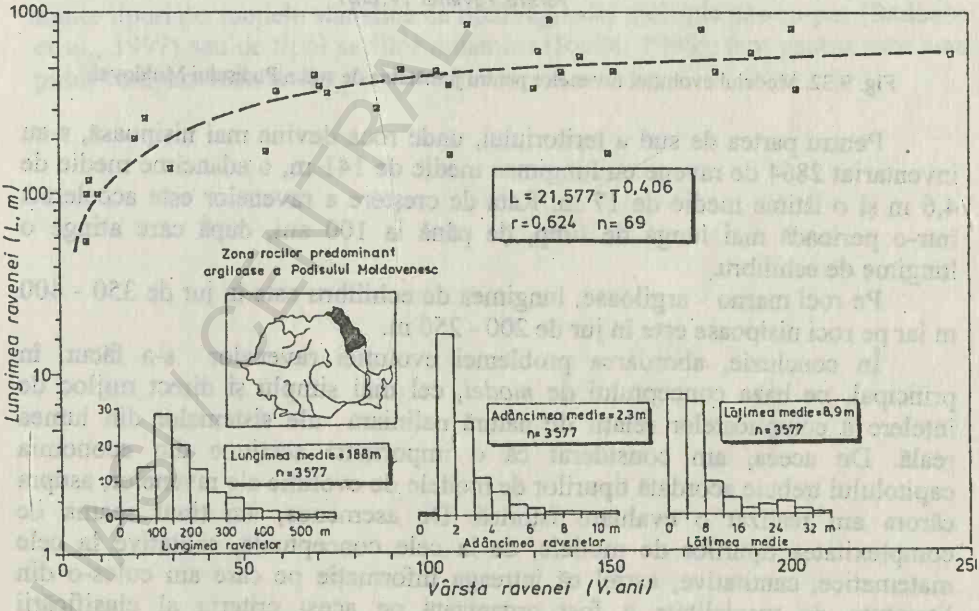


Fig. 9.31. Modelul evoluției ravenelor pentru jumătatea de nord a Podișului Moldovei

Pentru partea de nord a teritoriului, aproximativ, nord de Vaslui, unde litologia este dominant marno-argiloasă s-au inventariat de pe fondul topografic

1: 25000 cca 3577 ravene cu lungimea medie de 188 m, adâncime medie 2,2 m și lățime medie de 8,9 m. Lungimea ravenei crește într-un ritm accelerat în primii 25-30 ani, după care rata de avansare se reduce, încât atinge o lungime de echilibru la o vârstă de 70 - 100 ani.

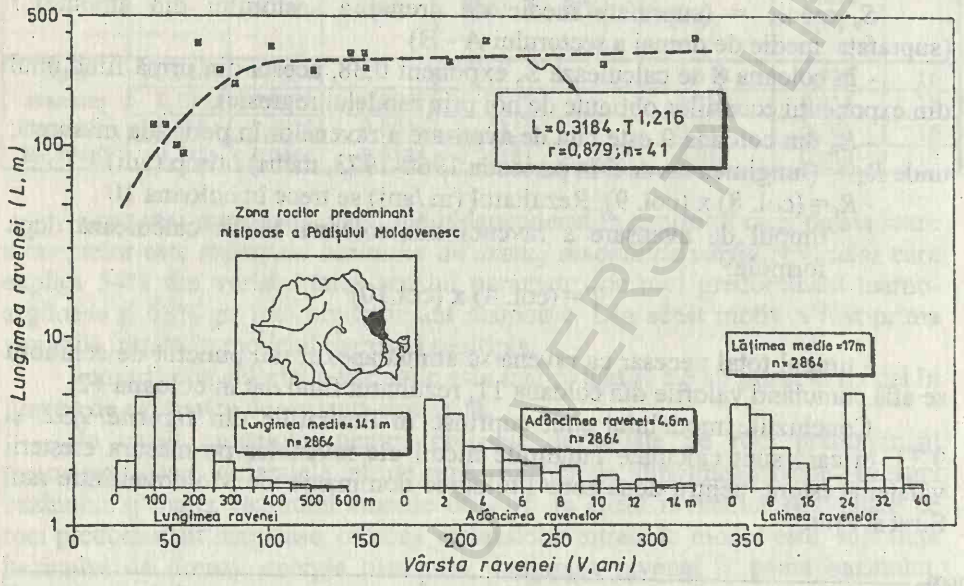


Fig. 9.32. Modelul evoluției ravenelor pentru jumătatea de sud a Podișului Moldovei.

Pentru partea de sud a teritoriului, unde roca devine mai nisipoasă, s-au inventariat 2864 de ravene cu lungimea medie de 141 m, o adâncime medie de 4,6 m și o lățime medie de 17 m. Rata de creștere a ravenelor este accelerată într-o perioadă mai lungă de timp, de până la 100 ani, după care atinge o lungime de echilibru.

Pe roci marno - argiloase, lungimea de echilibru este în jur de 350 - 400 m iar pe roci nisipoase este în jur de 200 - 250 m.

În concluzie, abordarea problemei evoluției ravenelor s-a făcut, în principal, pe baza conceptului de *model*, cel mai simplu și direct mijloc de înțelere a complicatelor relații de natură neliniară ale sistemelor din lumea reală. De aceea, am considerat că o importantă secțiune din economia capitolului trebuie acordată tipurilor de modele de evoluție ale ravenelor, asupra cărora am realizat o evaluare istorică. De asemenea, am ținut seama de complexitatea tipurilor de modele, de la cele conceptuale, calitative la cele matematice, cantitative, astfel că întreaga informație pe care am cules-o din literatura de specialitate a fost organizată pe acest criteriu al clasificării modelelor.

Modelele calitative, considerate cele mai simple, se bazează pe puterea intuiției autorului că, într-adevăr, un fenomen din lumea reală va parcurge anumite stadii și nu altele. Cu inerentele lor neajunsuri, aceste modele au

constituit de multe ori baza pentru numeroase amenajări și conservări ale terenurilor degradate prin ravenații.

Dar practicienii din domeniul ameliorării terenurilor agricole au solicitat tot mai imperios modele care să se bazeze mai mult pe informații cantitative din teren și mai puțin pe speculații mentale, astfel că în momentul de față dispunem de o importantă bază de date asupra evoluției ravenelor, moment când s-au dezvoltat numeroase modele matematice. Cele mai numeroase modele sunt cele statistice, care pleacă de la cunoașterea rezonabilă a dezvoltării ravenelor în anumite condiții și le extrapolează în timp, pe baza unor relații matematice simple. Nu mai puțin de șapte asemenea modele au fost exemplificate de noi, construite pentru cele mai diverse condiții de evoluție, de la zona semiaridă a Israelului sau SE SUA, la condițiile climatului temperat al sudului Canadei sau continental tipic al Câmpiei Ruse, până la climatul temperat oceanic al NV Angliei.

Din clasa modelelor mai elaborate am adus în discuție mult mai puține, deoarece și literatura de specialitate este mult mai puțin preocupată de astfel de modele. Un motiv ar fi dificultatea de aplicare a unor astfel de modele, numeroase date pe care trebuie să se țină cont, accesul la o tehnică de calcul mai sofisticată și, în consecință, și o limitare a eforturilor în această direcție. O direcție nouă și foarte activă este aceea a utilizării Sistemului de Informații Geografice, care a cuprins în aria sa și problema modelării evoluției terenurilor prin procese de ravenație.

Relativ la evoluția ravenelor din Podișul Moldovei au fost apelate mai multe tipuri de modele statistice de tipul regresiei multiple pas-cu-pas (Rădoane et al., 1997) sau de tipul seriilor dinamice (Ioniță, 1998), fapt pentru care s-au putut compara rezultatele.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

BIBLIOGRAFIA

AHMADOV H. M. (1979), *V sovremennom roste ovragov Tadjikistana.* Gheomorfologhia, 4, Moskva.

AHNER F. (1988), *Modelling landform change*, în M. G. Anderson editor, Modelling Geomorphological Systems, John Wiley & Sons.

ARGHIRIADE C. (1977), *Rolul hidrologic al pădurii*, Editura Ceres, București

AULITZKI H. (1981), *Preliminary two - fold clasification of torrents*, Contributions to Research on Torrent Erosion and Avalanches IUFRO.

BĂCĂUANU V. (1968), *Câmpia Moldovei. Studiu geomorfologic*, Editura Academiei, București.

BĂCĂUANU V., DONISĂ I., HÂRJOABĂ I. (1974), *Dicționar geomorfologic,* Editura Științifică, București.

BĂCĂUANU V., BARBU N., PANTAZICĂ MARIA, UNGUREANU AL., CHIRIAC D. (1980), *Podișul Moldovei. Natură, om, economie,* Editura Științifică și Enciclopedică, București.

BĂLOIU V. (1965), *Amenajarea torenților pe teritoriul agricol*, Editura Agrosilvică, București.

BĂLOIU V. (1975), *Amenajarea ravenelor*, în Eroziunea solului și metodelor de combatere , Editura Ceres, București.

BĂLOIU V. (1980), *Amenajarea bazinelor hidrografice și a cursurilor de apă,* Editura Ceres, București.

BĂLOIU V., IONESCU V. (1986), *Apărarea terenurilor agricole împotriva eroziunii, alunecărilor și inundațiilor*, Editura Ceres, București.

BĂLTEANU D. (1983), *Experimentul de teren în geomorfologie*, Editura Academiei, București

BĂLTEANU D., TALOESCU IULIANA (1978), *Asupra evoluției ravenelor. Exemplificări din dealurile și podișurile de la exteriorul Carpaților*, SC GGG, seria geografie, t. XXV.

BĂLTEANU D., MIHAI G., NEGUȚ N., CAPLESCU L. (1984), *Sources of sediment and channel changes in small catchments of Romania's hilly regions,* în volumul "Catchement Experiments in Fluvial Geomorphology", T.P. Burt și D.E. Walling editori, Geo Books, Norwich.

BEER C. E. , JOHNSON H. P. (1963), *Factors related to gully growth in the deep loess area of Western Iowa*, în Procedings Federal Inter - Agency Conferance on Sedimentation, U.S. Department of Agriculture Miscellaneous Publication 970.

BEGIN Z. B., SCHUMM S. A. (1979), *Instability of alluvial valley floors: a method for its assessment*, Transactions of the ASAE, 22

BERRY L. (1970), *Some erosional features due to piping and subsurface wash with Special reference to the Sudan*, Geografiska Annaler, 52A.

BLONG R. J. (1970), *The development of discontinous gullies in a pumice catchment*, Am. Journal of Science, V, 268.

BLONG R. J. (1985), *Gully sidewall development in New South Wales, Australia*, Soil Erosion and Conservation , S. A. El - Swaifs, W. C. Moldenhauer editori, Soil Conservation Society of America.

BLONG R. J., GRAHAM O. P., VENESS J. A. (1982), *The role of side wall processes in gully development; some N.S.W. examples*. Earth Surface Procs. and Landfs., vol. 7.

BOIKO F.F., BUTAKOV G.P., DVINSKIKH A.P., DEDKOV A.P., KOROTINA N.N., LAPTEVA N.N., MOZZHERIN V.I., RYSIN I.I., NAZAROV N.N., TUKAEV R.M. (1991), *Territorial analysis of ravine density in the east of Russian Plain*, Geomorphological Processes and Envionments, Abstracts, Kazan.

BRADFORD J. M., PIEST R. F. (1977), *Gully wall stability in loess-derived alluvium*, Soil Science Soc. of Am. Jour., vol. 41, nr.1.

BRADFORD J. M., PIEST R. F., SPOMER R. G. (1978), *Failure sequence of gully headwalls in Western Iowa*. Soil Science Soc. of Am. Jour., vol. 42, nr 2.

BRADFORD J. M., PIEST R. F. (1980), *Erosional development of valley-bottom gullies in the upper mid western United states*, D. R. Coates și J.D. Vitek editori, Threshold in Geomorphology Allen and Unwin, Londra.

BUCUREȘTEANU MARIA, RĂDOANE MARIA (1991), *Geochimia sedimentelor din ravena Gurguiata Mare*, Lucrile Seminarului Geografic "Dimitrie Cantemir", Iași, nr. 11-12.

BULL W. B. (1975), *Allometric change of landforms*, Bull. of the Geological Society of America, 86.

BULL W. B. (1977), *Allometric change of landforms reply*, Bull. of the Geological Society of America, 88.

BULL W. B., KIRKBY M. J. (1997), *Gully processes and modelling*, Progress in Physical Geography, 21, 3.

BURKARD B. M., KOSTASCHUK A. R. (1995), *Initiation and evolution of gullies along the Shoreline of Lake Huron*, Geomorphology, 14, Elsevier.

BUTAKOV G.P., DVINSKIKS A.P., NAZAROV N.N., RYSIN I.I. (1991), *The results of stationary observations on ravine erosion dynamics in the East of Russian Plain*, Geomorphological Processes and Envionments, Abstracts, Kazan.

CIORTUZ I. (1981), *Ameliorații silvice*, Editura Didactică și Pedagocică, București.

CHORLEY R. J. (1962), *Geomorphology and general systems theory*, U.S. Geol. Survey Prof. Paper, 500-B.

CHURCH M., MARK D. M. (1980), *On size and scale in geomorphology*, Progress in Physical Geography, 4.

COOKE R. U., REEVES R. W. (1976), *Arroyos and environmental change in the American South-West*, Clarendon Press, Oxford.

COX N. J. (1977), *Allometric change in landforms discussion*, Bull. of the Geological Society of America, 88.

De OLIVEIRA M. A. T. (1990), *Slope geometry and gully erosion development: Bananal, Sao Paulo, Brazil*, Zeits. für Geomorphology N.F. 34, 4.

De PLOEY (1974), *Mechanical properties of hillslopes and their relation to gulling in central semi-arid Tunisia*, Zeits. für Geomorphology Suppl. 21.

De PLOEY (1988), *No-tillage experiments in the central Belgian loess belt*, Soil Technology,1.

De PLOEY (1991), *The erosional susceptibility of catchment for gullying according to the E_s model*, Geomorph. process and Environ. IGU, 21-30 june, Kazan.

DIETRICH E. W., DUNNE T. (1978), *Sediment budget for a small catchment in mountainous terrain*, Zeits. für Geomorphology, Suppl. 29.

DRĂGAN LIVIA, STĂNESCU P. (1970), *Zonarea erozivității pluviale*, An., I.C.I.F.P., seria Pedologie, vol. III (XXXVII), București.

DUNNE T., LEOPOLD L.B. (1978), *Water in environmental planning*, W.H. Freeman & Company, San Francisco.

EAST J. T. (1985), *A factor analytic approach to the identification of geomorphic processes from soil particle size characteristic*, Earth Surface Procs. and Landfs., vol. 10.

EVANS I. S. (1972), *General geomorphomertry, derivatives of altitude, and descriptive statistics*, în R. J. Chorley editor, Spatial Analysis in Geomorphology, London, Methuen.

FABER T., IMERSON A. C. (1982), *Gully hydrology and related soil proprties in Lesotho*, Proc. of Exeter Symp., IAHS Publications, 137.

FILIPESCU M. (1950), *Îmbătrânirea prematură a rețelei hidrografice din partea sudică a Moldovei dintre Siret și Prut și consecințele acestui fenomen*, Natura, an II, nr. 5.

GAȘPAR R., UNTARU E. (1978), *Cercetări privind scurgerea de suprafață și transportul de aluviuni în bazine hidrografice mici, torențiale, parțial împădurite*, ICAS, București.

GAȘPAR R., UNTARU E., ROMAN F., CRISTESCU C. (1982), *Cercetări hidrologice în bazine hidrografice torențiale mici*, ICAS, seria a-II-a, București.

GAȘPAR R., CRISTESCU C. (1987), *Cercetări asupra scurgerii de suprafață și transportului de aluviuni în bazine hidrografice torențiale mici, , parțial amenajate*, ICAS, seria a-II-a, București.

GOULD S.J. (1966), *Allometry and size in ontogeny and phyllogeny*, Cambridge Philosophical Society Biological Review, 41.

GOVERS G. (1985), *Selectivity and transport capacity of thin flows in relation to rill erosion*, Catena, 12.

GRAF W. I. (1979), *The rate law in fluvial geomorphology*, Am. Journal of Science, 277.

GREGORY K. J., WALLING D. E. (1976), *Drainage basin form and process. A geomorphological approach*, London, Edward Arnold.

HADLEY R. F., LAL R., ONSTAD C. A., WALLING D. E., YAIR A. (1985), *Recent development in erosion and sedimentation yield*, International Hydrological Progr., UNESCO, Paris.

HAIGH M. J. (1984), *Ravine erosion and reclamation in India*, Geoforum, vol. 15, no. 4.

HAIGH M. J. (1984), *Microerosion processes and sediment mobilization in a road-bank gully catchment in central Oklahoma*, în volumul "Catchement Experiments in Fluvial Geomorphology", T.P. Burt și D.E. Walling editori, Geo Books, Norwich.

HAIGH M. J. (1990), *Evolution a f an anthropogenic desert gully system*, în Erosion, Transport and Deposition Processes, IAHS Publ. no. 189.

HANGSIONG Z. (1989), *The experiences and benefits of integrated control in the Ansai soil and water conservation experimental area*, în The Extent of Soil Erosion - Regional Comparisons, vol. 1.

HARVEY A. M. (1992), *Process interactions, temporal scales and the development of hillslope gully systems: Howgill Fells, northwest England*, Geomorphology, 5, Elsevier.

HÂRJOABĂ I. (1968), *Relieful Colinelor Tutovei*, Editura Academiei, București.

HEEDE B. H. (1967), *The fusion of discontinous gullies. A case study*, Bull. Int. Assoc. for Sciences Hydrol., XII, (4), 42 - 50 p.

HEEDE B. H. (1971), *Characteristics and processes of soil piping in gullies*, USDA, Forest Service Research Paper, R.M-68.

HEEDE B. H. (1974), *Stages of development of gullies in the Western United States of America*, Zeits. für Geomorphology, vol. 18 (3).

HEEDE B. H. (1975), *Stages of development of gullies in the West*, în Presebt and Perspective Technology for Predicting Sediment Yields and Sources, ARS - 40.

HEEDE B. H. (1976), *Gully development and Control: The Status of our Knowledge*, USDA, Forest Service Research Paper, RM - 119

HEEDE B. H. (1980), *Gully erosion - a soil failure: possibilities and limits of control*, International Symposium, sept. 8 -12, 1980, Bad Ischl, Austria, vol. I.

HEEDE B. H., De BANO L. F. (1984), *Gully rehabilitation - a three stage process in a sodic soil*, Soil Science Soc. of Am. Jour., vol. 48, no. 6.

HOOKE R.L., ROHRER W.L. (1977), *Geometry of alluvial fans: effect of discharge and sediment size*, Geological Society of America Bulletin, 83.

HUGGET R. J. (1985), *Earth surface systems*, Springer Verlag, Berlin.

HURJUI C. (1998), *Rolul ravenației în morfogeneză. Terminologie, concepte, clasificări și problema factorilor de control*, Referat doctorat 1, Univ. "Al. I. Cuza", Iași.

HURJUI C. (1998), *Proprietățile fizico-mecanice ale rocilor sedimentare din Podișul Moldovenesc ca factori determinanți în morfometria ravenelor*, Referat doctorat 2, Univ. "Al. I. Cuza", Iași.

ICHIM I. (1981), *Tendințe actuale în formarea glacisurilor în condițiile morfogenetice din România,* Analele Șt. Univ. "Al. I. Cuza", Iași. t. XXVII, s. II b.

ICHIM I. (1986), *Sistemul aluviunilor,* Lucrările Primului Simpozion PEA, Piatra Neamț.

ICHIM I., RĂDOANE MARIA, RĂDOANE N. (1979), *Elemente geomorfologice în evaluarea eroziunii și acumulării în bazine torențiale amenajate din valea Bistriței,* Bul. inf. al ASAS, nr. 8, 193 - 202.

ICHIM I., RĂDOANE MARIA (1983), *Analiza morfometrică ca metodă de evaluare a tendințelor în dinamica unor formațiuni torențiale pe versantul drept al văii Trotușului,* Lucrările Seminarului Geografic "Dimitrie Cantemir", Iași, vol. 3.

ICHIM I., SURDEANU V., RĂDOANE N. (1984), *Landsling slope development and sediment yield in a temperate environment; Northeast Romania.* în T. Burt și D. E. Walling editori, Catchement Experiments in Fluvial Geomorphology, Norwich.

ICHIM I., MIHAIU Gh. (1988), *Geometria formațiunilor de adâncime și problema surselor de aluviuni,* Lucrările celui de al II- lea Simpozion PEA, Piatra Neamț.

ICHIM I., BĂTUCĂ D., RĂDOANE MARIA, DUMA D. (1989), *Morfologia și dinamica albiilor de râu.* Editura Tehnică, București.

ICHIM I., MIHAIU Gh., SURDEANU V., RĂDOANE MARIA, RĂDOANE N. (1990), *Gully erosion in agricultural lands in Romania,* în J. Boardman, D. L. Foster și J. A. Dearing editori, Soil Erosion on Agricultural Land, Willey & Sons, Londra.

ICHIM I., RĂDOANE MARIA, RĂDOANE N., GRASU C., MICLĂUȘ CRINA (1998), *Dinamica sedimentelor. Aplicație la râul Putna - Vrancea,* Editura Tehnică, București.

IMESON A. C., KWAAD F. G. P. M. (1980), *Gully types prediction,* Geografisch tijdschrift XIV, nr. 5.

IMESON A. C., KWAAD F. G. P. M. (1990), *The response of tilled soils to wetting by rainfall and the dynamic character of soil erodability,* în J. Boardman, D. L. Foster și J. A. Dearing editori, Soil Erosion on Agricultural Land, Willey & Sons, Londra.

IONIȚĂ I. (1998), *Studiul geomorfologic al degradărilor de teren din bazinul mijlociu al Bârladului,* Rezumatul tezei de doctorat, Univ. "Al. I. Cuza", Iași.

IONIȚĂ I., OUATU O. (1973), *Degradările de teren din bazinul superior al Bârladului,* Lucrările Colocviului Național de Geomorfologie Aplicată și Cartografie Geomorfologică, Iași.

IONIȚĂ I., OUATU O. (1985), *Contribuții la studiul eroziunii solurilor din Colinele Tutovei,* Cercetări Agronomice în Moldova, vol. 3 (71), Iași.

IRELAND H. A., SHARPE C. F. S., EARGLE D. M. (1939), *Principles of gully erosion in the piedmont of South Carolina,* U. S. Dep. of Agricult. Tech. Bull., no. 633.

JACOBSON P. (1963), *Gully control methods in Iowa*, Symposion " Land Erosion and Control". Paper No 17, III - 113.

JOHNSTON R. J. (1986), *Multivariate statistical analysis in geography*, Longham, London.

JONES J. A. A. (1981), *The nature of soil Piping - a Review of Research*, British Geomorphological Research Group Monograph. series nr. 3, Geo Books, Norwich.

KALINICENKO N. P., ILINSKII V. V. (1976), *Gully improvement and control by means of forestry measures (in Russian)*, Izd. Lesnaya promyshlennost, Moskva.

KEMP A. C. (1990), *Towards a dynamic model of gully growth*, în D. E. Walling, A. Yair, S. Berkowicz editori, Erosion, Transport and Deposition Processes, IAHS Publ. No 189.

KIBLER D. F., WOOLHISER D. A. (1970), *The kinematic cascade as a hydrological model*, Colorado State University Hydrology Paper, 39.

KIRKBY M. J. (1987), *The Hurst effect and its implications for extrapolating process rates*, Earth Surface Procs. and Landfs., 12, 1.

KLOVAN J. E. (1966), *The use of factor analysis in determining depositional environments from grain size distribution*, Journal of Sedimentary Petrology, 36.

KOZMENKO A.S. (1954), *Borba s eroziei pociv*, Selkhozgiz, Moscova.

KOSOV B. F., KOSTANTINOVA G. S. (1972), *O novom soderjanîi cartî ovrajnosti*, Erozia pocv i rustovîie proțesî. 2, Izv. MGU.

KOSOV B. F., ZORINA E. F., PROKHOROVA S. D. (1982), *Istoria razvitia antropologhenoi ovrajnoi ceti v țentralnoi lesosteli evropeiskoi ciasti SSSR v sviazi ce hoziaistvenoi sveniemi*, Gheomorfologhia, 3.

KOROTINA N. M. (1981), *Skorosti rosta ovragov b Ulianovskom pobolje*, Gheomorfologhia, 4.

LANGBEIN W. B., LEOPOLD L. B. (1966), *River meanders and theory of minimum variance*, Rivers în River Terace, G. H. Dury și Mac Millan editori.

LEOPOLD L. B., MADDOCK T. (1953), *The hydraulic geometry of stream channels and some physiographic implication*, U.S. Geol. Survey Prof. Paper, 242.

LEOPOLD L. B., MILLER J. P. (1956), *Ephemeral streams, hydraulic factors and their relation to the drainage network*, U.S. Geol. Survey Prof. Paper, 282-A.

LEOPOLD L. B., WOLMAN G. M., MILLER J. P. (1964), *Fluvial Processes in Geomorphology*, W.H. Freeman and Co., San Francisco.

LUNDEN B., STRÖMQUIST L., CHAKELA Q. (1986), *Soil erosion in different Lesotho Environments - Rate and Sediment Sources*, în Sediment Sources, Sediment Residence, Time and Sediment Transfer - Case Studies of Soil Erosion in the Lesotho Lowlands, Q. Chakela, B. Lunden și L. Strömquist editori, UNGI Raport nr. 64, Uppsala University.

MAC I. (1986), *Elemente de geomorfologie dinamică*, Editura Academiei, București.

MARINOV G. (1991), *Conditions of gully erosion development on the Provadijsk and Royaksk Platoes, Bulgaria*, Geomorphological Processes and Envionments, Abstracts, Kazan.

MARTINIUC C. (1954), *Geomorfologia tipurilor de pante din regiunea Bârladului (situația degradărilor de teren)*, D. S. Com. Geol. (1950-1951), vol. 38.

MARTINIUC C. (1954), *Geomorfologia degradărilor de teren din bazinul mijlociu și superior al Tutovei*, D. S. Com. Geol. (1950-1951), vol. 38.

McDOWELL, L.L., BOLTON G. C., RYAN M. E. (1967), *Sediment production from Lafayette connty Mississippi Gully*, The Miss. Water Res. Conferance Jackson, Mississippi.

McINTYRE D. S. (1979), *Exchangeable sodium, subplasticity and hydraulic conductivity of some Australian soils*, Australian Jour. of Soil Research,17.

McQUITTY L. L. (1957), *Elementary linkage analysis for isolating orthogonal and oblique types and typal relevancies*, Educational and Psychological Measurement,17.

MESSINES J. (1967), *Corecția torenților*, Rev. Pădurilor, nr. 4, București.

MIHAI Gh., IULIANA TALOESCU, NEGUȚ N. (1979), *Influența lucrărilor transversale asupra evoluției ravenelor formate pe alternanțe de orizonturi permeabile si impermeabile*, Bul. Inf. ASAS, 8, București.

MIȚĂ P. (1980), *Contribuții privind influența pădurii asupra scurgerii*, Bul. Inf. ASAS, 8, București.

MITCHELL J. K., BUBENZER G. D. (1989), *Soil loss estimation*, în Kirkby și Morgan editori, Soil Erosion, John Wiley & Sons, Chichester.

MIZUTANI T. (1985), *Experimental study on the evolution of the longitudinal profile of an artificial slope composed of volcanic ash due to gullying*, Geographical Reports of Tokyo Metropolitan Univ., No. 20.

MOȚOC M. (1963), *Eroziunea solului pe terenurile agricole și combaterea ei*, Editura Agrosilvică, București.

MOȚOC M. (1983), *Ritmul mediu de degradare erozională a solului în R.S.R.*, Bul. Inf. ASAS, 2, București.

MOȚOC M. (1984), *Participarea proceselor de eroziune și a folosințelor terenului la diferențierea transportului de aluviuni în suspensie pe râurile din România*, Bul. Inf. ASAS, 13, București.

MOȚOC M. (1984), *Formarea rigolelor și intensitatea de transport a materialului solid pe versanții cu culturi agricole*, Bul. Inf. ASAS, 14, București.

MOȚOC M., MUNTEANU S. A., BĂLOIU V., STĂNESCU P., MIHAI Gh. (1975), *Eroziunea solului și metodele de combatere*, Editura Ceres, București.

MOȚOC M., IULIANA TALOESCU, NEGUȚ N. (1979), *Estimarea ritmului de dezvoltare a ravenelor*, Bul. Inf. ASAS, 8, București.

MOȚOC M., OUATU O. (1985), *Formarea rigolelor și intensitatea de transport a materialului solid, pe versanții cu culturi agricole*, Bul. Inf. ASAS, 14, București.

MUNTEANU S. A., GAȘPAR R., BĂLOIU V. (1970), *Corectarea torenților și combaterea eroziunii terenurilor*, în Manualul Inginerului Hidrotehnician, vol. II, Editura Tehnică, București.

MUNTEANU S. A., TRACI C., CLINCIU I., LAZĂR N., UNTARU E. (1991), *Amenajarea bazinelor hidrografice torențiale prin lucrări silvice și hidrotehnice*, vol. I, Editura Academiei, București.

NORDSTRÖM K. (1988), *Gully erosion in the Lesotho lowlands*, UNGI Rapport No 69, Uppsala University.

NORCLIFFE G. B. (1977), *Inferential statistics for geographeas*, Hutchinson, London.

OLOFIN A. E. (1990), *The dynamics of gully head recesion in a savanna environment*, în D. E. Walling, A. Yair, S. Berkowicz editori, Erosion, Transport and Deposition Processes, IAHS Publ. No 189.

PARK C. C. (1978), *Allometric analysis and stream channel morphometry*, Geographical Analysis, X, 3.

PATTON P. C., SCHUMM S. A. (1975), *Gully erosion, north western Colorado: A threshold phenomenon*, Geology 3(2).

PHILIPS D. J. (1995), *Nonlinear dynamical systems in geomorphology: revolution or evolution?*, Geomorphology, 5, Elsevier, Amsterdam.

PIEST R. F., SPOMER R. G. (1968), *Sheet and gully erosion in the Missouri Valley loessial regim*, Transactions of the ASAE, vol. 11, No 6.

PIEST R. F., BRADFORD J. M., SPOMER R. G. (1975), *Mechanisms of erosion and sediment movement from gullies*, în Present and prospective technology for predicting sediment yields and sources, ARS-USDA, ARS-S-40.

PIEST R. F., KRAMER A. L., HEINEMANN G. H. (1975), *Sediment movement from loessial watersheds*, în Present and prospective technology for predicting sediment yields and sources, ARS-USDA, ARS-S-40.

PIEST R. F., BRADFORD J. M., WYATT G.M. (1975), *Soil Erosion and Sediment transport from gullies*, Journal of the Hydraulics Division ASCE, vol.101, No HYI, 11069.

PIEST R. F., BEER C. E., SPOMER R. G. (1976), *Entrenchment of drainage system in Western Iowa and Northwestern Missouri*, North Central Reg., Agricultural Res. Serv., USDA.

PLATAGEA Gh., PLATAGEA MARIA (1981), *Problema determinării debitelor maxime de apă generate de ploile torențiale în bazine hidrografice mici de pe teritoriul R. S. România*, Rev. Pădurilor, 12, București.

POESEN J. (1988), *A review of the studies on the mechanisms of incipient rilling and gulling in the Belgian Loam Region*, Procedings of the International Symposium on Erosion in S.E. Nigeria, vol. 1, nr. 1.

POESEN J. (1992), *Mechanisms of overland-flow generation and sediment production on loamy and sandy soils with and without rock*

fragments, Overland Flow Hydraulics and Erosion Mechanics, A.J. Parson &A.D. Abrahams (eds), UCL Press, Londra.

POESEN J., GOVERS G. (1990), *Gully erosion in the Loam Belt of Belgium: typology and control measures*, în J. Boardman, D. L. Foster și J. A. Dearing, Soil Erosion on Agricultural Land, Willey & Sons, Londra.

POGHIRC P. (1986), *Satul din Colinele Tutovei - Studiu geografic*, Editura Științifică, București.

POPA A. (1977), *Cercetări privind eroziunea și măsurile de combatere a eroziunii pe terenurile agricole din Podișul Moldovenesc*, MAIA, ASAS, București.

POSEA Gr., POPESCU N., IELENICZ M. (1974), *Relieful României*, Editura Științifică, București.

RAO R. A. (1978), *Stochastic analysis of thresholds in hydrologic time series*, în D.R. Coates și J.D. Vitek editori, Thresholds in Geomorphology, Allen & Unwin, Londra.

RAUWS G., GOVERS G. (1988), *Hydraulic and soil mechanical aspects of rill generation on agricultural soils*, Journal of Soil Science, 39.

RĂDOANE MARIA, SURDEANU V., RĂDOANE N., ICHIM I. (1988a), *Contribuții la studiul ravenelor din Podișul*, Lucrările celui de al II -lea Simpozion PEA, Piatra Neamț.

RĂDOANE MARIA, ICHIM I., RĂDOANE N., SURDEANU V., (1988b), *Asupra profilului longitudinal șI factorul formă a ravenelor din Podișul Moldovenesc*, SC GGG, seria geografie, 37.

RĂDOANE MARIA, RĂDOANE N. (1992), *Areal distribution of gullies by the grid square method. Case stuty; Siret and Prut interfluve*, RR GGG, série Géographie, 36.

RĂDOANE MARIA, ICHIM I., RĂDOANE N., MICLĂUȘ CRINA (1992), *Bugetul de aluviuni în bazine hidrografice mici din Valea Oltului. Abordare geomorfologică*, Lucrările celui de al IV-lea Simpozion PEA (supliment), Piatra Neamț.

RĂDOANE MARIA, RĂDOANE N., ICHIM I. (1994), *Ecuații de regresie multiplă pentru evaluarea ratei de avansare a ravenelor din Podișul Moldovenesc*, SC GGG, seria geografie, XLI.

RĂDOANE MARIA, ICHIM I., RĂDOANE N. (1995), *Gully distribution and development in Moldavia, Romania*, Catena, 24, Elsevier.

RĂDOANE MARIA, ICHIM I., RĂDOANE N., DUMITRESCU Gh., URSU C. (1996), *Analiza cantitativă în geografia fizică*. Editura Universității "Al. I. Cuza" Iași.

RĂDOANE MARIA, ICHIM I., RĂDOANE N. (1996), *Morfologia și dinamica ravenelor*, Analele Șt. Univ. "Ștefan cel Mare", Suceava.

RĂDOANE MARIA, RĂDOANE N., ICHIM I. (1997), *Analiza multivariată a ravenelor din Podișul Moldovenesc*, Studia Universitatis Babeș-Bolyai, Cluj- Napoca

RĂDOANE N. (1980), *Contribuții la cunoașterea unor procese torențiale din bazinul pârâului Pângărați, în perioada 1976 - 1979*, SC GGG, seria geografie, XXVII.

RĂDOANE N. (1984), *Rolul îngheț - dezghețului în modelarea actuală a reliefului din bazinul hidrografic Pângărați,* SC GGG, seria geografie, XXXI.

RĂDOANE N. (1985), *Considerații privind eroziunea pe drumurile forestiere din bazinul hidrografic Pângărați,* Lucrările Seminarului "Cercetări geomorfologice pentru lucrările de îmbunătățiri funciare", București.

RĂDOANE N. (1986), *Efectul antropic în proveniența și efluența aluviunilor din bazine hidrografice mici,* Lucrările Primului Simpozion PEA, Piatra Neamț.

RĂDOANE N. (1988), *Studiul proceselor geomorfologice actuale si microreliefulcreat de ele din bazinele râurilor Pângărați si Oanțu din Carpații Orientali*, Teză de doctorat, Univ. " Al. I. Cuza", Iași .

RICE M. R. (1982), *Sedimentation in the Chaparral: how do You handle unusual events?*, în F. J. Swanson, R. J. Janda, T. Dunne și D. N. Swanston editori, Sediment Budgets and Routing in Forested Drainage Basins, General Technical Report PNW - 141

ROLOFF G., BRADFORD J. M., SCRIVNER C. L. (1981), *Gully development in the deep loess hills region of central Missouri*, Soil Science Soc. of Am. Jour, 45, 1.

ROȘCOV A. G. (1973), *Intensity of gully increase in Moldavia*, In Soil Erosion and River-bed Processes, vol. 3, Izd. Moscovkogo Universiteta.

SAVAT J., DE PLOEY J. (1982), *Sheetwash and rill development by surface flow.* în R.B. Bryan, A. Yair editori, Badland Geomorphology, GeoBooks Ltd, Norwich.

SCHUMM S. A. (1973), *Geomorphic threshold and complex respose of drainage systems*, în M. Morisawa editor, Fluvial Geomorphology, Binghampton, NewYork.

SCHUMM S. A., HADLEY R. F. (1957), *Arroyos and the semiarid cycle of erosion*, American Journal of Science, vol. 255.

SCHUMM S. A., HARVEY D. M., WATSON C. C. (1984), *Incised channels morphology, dynamics and control*, Water Resources Publications, Littleton, Colorado.

SEGINER I. (1966), *Gully development and sediment yield*, Research Report No 13, The Israel Ministry of Agriculture, Soil Conservation Division.

SEMENOV O.P. (1991), *On the dynamics of gullies' channel erosion formation,* Geomorphological Processes and Envionments, Abstracts, Kazan.

SFICLEA V. (1962), *Evoluția profilelor longitudinale ale văilor din bazinul Chinejei în timpul istoric*, Analele Șt. Univ. "Al. I. Cuza", VIII, Iași.

SFICLEA V. (1980), *Podișul Covurlui. Studiu geomorfologic*, în vol. - Masivul Ceahlău, Țara Giurgeului, Depresiunea Dărmănești, Podișul Covurlui - Colocviul "Cercetări în geografia României", Editura Științifică și Enciclopedică, București.

SHERARD J. L., RYKER N. L., DEKER R. S. (1972), *Piping in earth of dispersive clay,* în Proc. of the Special Conf. on the Performance of Earth - Supported Structures, American Soc. Civ. Eng. 1.

SHIRAZI M., BOERSMA L. (1984), *A unifying quantitative analysis of soil texture,* Soil Science Society America, Journ. 48.

SKOMOROKHOVA A. L. (1981), *Skorosti rosta ovragov*, Gheomorfologhia, 1, Moskva.

SOBOLEV S.S. (1948), *Razvitie erozionnîh processov na teritorii evropeiskoi ceasti SSSR I borba s nimi*, Tom. I, Iz. Ac. N. SSSR.

SOLOHUB J. T., KLOVAN J. E. (1970), *Evaluation of grain-size parameters in lacustrine environments,* Journal of Sedimentary Petrology, 40.

STOCKING M. A. (1981), *Causes and prediction of the advance of gullies,* South-East Asian Regional Symposium an Problems of Soil Erosion and Sedimentation, Bangkok, 27-29 January 1981.

STRAHLER A. N. (1952), *Dynamic basis of geomorphology,* Geol. Soc. of America Bull., 63.

STRAHLER A. N. (1980), *Systems theory in physical geography,* Phys. Geogr., 1.

THOMPSON J. R. (1964), *Quantitative effect of watershed variables on rate of gully head advemcement*, Transactions of the ASAE 7 (1).

THORNE C. R., ZEVERIBERGEN L. W. (1990), *Prediction ephemeral gully erosion on cropland in the southeastern United States*, în Soil Erosion on Agricultural land, Boardman, Foster și Dearing editori, Wiley & Sons, Chichester.

THORNES J. B. (1977), *Channel changes in ephemeral streams: Observations, Problems and Models*, în vol. River Channel Changes, editor K.J. Gregory, John Wiley & Sons, Chichester.

THORNES J. B. (1984), *Gully growth and bifurcation*, în Erosional Control - Man and Nature. Procedings of XV Conference of the International Erosion Control Association, Denver.

TORRI D., SFALANGA M., Del SETTE M., (1987), *Splash detachment: runnoff depth and soil coesion*, Catena, 14, Braunschweig.

TRACI C. (1962), *Unele aspecte privind influența substratului litologic și a stratificației acestuia asupra eroziunii în adâncime în bazinul Arieșului din Munții Apuseni,* Rev. Pădurilor, 5, București.

TRACI C. (1985), *Împădurirea terenurilor degradate,* Editura Ceres, București.

TRICART J. (1947), *Sur quelques indices géomorphometriques,* Comptes Randus hebdomadaires des Séance de l' Académie des Science 225.

TRICART J. (1977), *Précis de Géomorphologie,* 2 - Géomorphologie dinamique generale, SEDES, Paris.

TUCKFIELD C. G. (1965), *Rate of erosion by gulling in the New Forest,* în Rates of Erosion and Weathering in the British Isle, Institute of British Geographers, Bristol.

TUFESCU V. (1966), *Modelarea naturală a reliefului și eroziunea accelerată,* Editura Academiei, București.

TUFESCU V. (1967), *Torenții,* Editura Științifică, București.

TWINDALE C. R. (1990), *Weathering soil development and landforms; Groundwater Geomorphology; The role of subsurface water in Earth-surface processes and landforms Boulder, Colorado,* Geological Society of America Special Paper 252, editori Higgins și Coates.

TWINDALE C. R. (1997), *Some recently developed landforms: climatic implications,* Geomorphology, 19, Elsevier.

VANDAELE K., POESEN J., GOVERS G., WESEMAEL van B. (1996), *Geomorphic threshold conditions for ephemeral gully incision,* Geomorphology, 16, Elsevier.

VÂLSAN G. (1945), *Procese elementare în modelarea scoarței terestre,* București.

VENESS J. A. (1980), *The role of fluting in gully extension,* Journal of Soil Conservation, New South Wales, 36.

WALLING E. D., MOREHEAD W. P. (1987), *Spatial and temporal variation of the particle size characteristics*, Geografiska Annaler, 69 A (1).

WELCH H. N. (1986), *Ephemeral gullies as sources of sediment*, în Procedings of the Fourth Federal Interagency Sedimentation Conferance, vol. I.

WELLS N. A., ANDRIAMIJA B., S. ROKOTOVOLALONA H. K. (1991), *Patterns of development lavaka, Madagascar*, Earth Surface Procs. and Landfs., 16.

WENNER C. G. (1989), *Soil and water conservation in the farming areas of Lesotho*, în The Extent of Soil Erosion - Regional Comparisons, DITSL, Witzenhausen.

WISHMEIER W. H., SMITH D. D. (1978), *Predicting rainfall erosion*, în Guide to Conservation Planning, USDA, Handbook, 537.

WOLDEBERG M. J. (1966), *Horton's laws justified in terms of allometric growth and steady state in open systems*, Bull. of the Geological Society of America, 77.

WOLMAN M. G., MILLER J. P. (1960), *Magnitude and frequency of forces in geomorphic processes*, Journal of Geology, 68.

WOLMAN M. G., GERSON R. A. (1978), *Relative scales of time and effectiveness of climate in watershed geomorphology*, Earth Surface Procs. and Landfs., 3.

WOODBURN R. (1949), *Science studies a gully*, Soil Conservation, 15 (1).

ZACHAR D. (1982), *Soil erosion*, Elsevier, Amsterdam.

ZĂVOIANU I. (1970), *Clasificarea cursurilor torențiale din punct de vedere morfohidrografic*, SC GGG, seria geografie, t. XVII.

ZĂVOIANU I. (1978), *Morfometria bazinelor hidrografice*, Editura Academiei, București.

ZORINA E. F., NIKOLSCAIA I. I., KOVALEV S. N. (1993), *Metodika opredelenia intensivnosti rosta ovragov*, Gheomorfologhia, 3, Moskva.

*** (1971), *Râurile României. Monografie hidrologică*, IMH, București.

Tabel 9.15. **Evaluarea ratei de avansare a ravenelor din Podișul Moldovei**

Nr. ravenă	Sector ravenă	Localizare punct măsurare	Lungime sector (m)	Suprafața bazin drenaj la punct de măsurare S_b (ha)	S_b medie (ha)	S_b	$S_b^{0.31}$	Rata de avansare R_a (m/an)	R_f	Timpul de eroziune T (ani)	Timpul cumulat (ani)
A) pe roci marno - argiloase											
R1		A		2.37							
	A - B		65		2.14	1.00	1.000	4.60	4.60	014	014
		B		1.92							
	B - C		115		1.53	0.71	0.878	4.60	4.04	028	028
		C		1.15							
	C - D		120		0.75	0.35	0.671	4.60	3.09	039	067
		D		0.35							
	D - apex		190		0.17	0.08	0.381	4.60	1.75	109	176
R2		A		3.25							
	A - B		115		2.91	1.00	1.000	7.80	7.80	15	15
		B		2.57							
	B - C		70		2.29	0.79	0.91	7.80	7.09	10	10
		C		2.02							
	C - apex		250		1.01	0.35	0.67	7.80	5.23	48	58
R3		A		2.50							
	A - B		95		2.18	1.00	1.00	6.80	6.80	14	14
		B		1.87							
	B - C		65		1.56	0.71	0.88	6.80	5.98	11	25
		C		1.25							
	C - D		90		0.87	0.40	0.71	6.80	4.83	19	44
		D		0.50							
	D - apex		110		0.25	0.11	0.43	6.80	2.92	38	82

BCU IASI - CENTRUL DE INFORMARE ȘI DOCUMENTARE - LIBRARY

R4		A		1.42							
	A - B		40		1.29	1.00	1.000	2.80	2.80	014	014
		B		1.17							
	B - apex		145		0.58	0.45	0.74	2.80	2.07	084	084
R5		A		1.25							
	A - B		185		0.72	1.000	1.000	13.00	13.00	014	014
		B		0.20							
	B - apex		35		0.10	0.14	0.47	13.00	6.10	020	020
R6		A		3.75							
	A - B		25		3.62	1.000	1.000	3.10	3.10	008	008
		B		3.50							
	B - C		95		2.98	0.82	0.93	3.10	2.90	041	041
		C		2.47							
	C - D		40		2.16	0.60	0.82	3.10	2.54	057	057
		D		1.85							
	D - E		70		1.38	0.38	0.69	3.10	2.10	090	090
		E		0.92							
	E - apex		185		0.41	0.11	0.43	3.10	1.33	229	229
R7		A		8.25							
	A - B		50		8.08	1.000	1.000	6.25	6.25	008	008
		B		7.92							
	B - C		85		7.54	0.93	0.97	6.25	6.06	014	022
		C		7.17							
	C – D1		100		4.46	0.55	0.80	6.25	5.00	020	042
		D1		1.75							
	D1 - E		120		1.25	0.15	0.49	6.25	3.10	039	081
		E		0.75							
	E - apex		145		0.37	0.05	0.31	6.25	1.94	075	156
		D2		4.25							
	D2 - F		100		3.70	0.46	0.74	6.25	4.62	064	064
		F		3.15							

	F - apex		205		1,57	0,19	0,53	6,25	3,31	062	084
R8		A		4,65							
	A - B		110		4,22	1,000	1,000	6,40	6,40	017	017
		B		3,80							
	B - C		140		3,03	0,72	0,88	6,40	5,63	025	042
		C		2,27							
	C - D		85		1,61	0,38	0,69	6,40	4,42	019	061
		D		0,95							
	D - apex		125		0,47	0,11	0,43	6,40	2,77	045	106
R9		A		0,75							
	A - B		140		0,57	1,000	1,000	9,60	9,60	015	015
		B		0,40							
	B - apex		200		0,20	0,35	0,67	9,60	6,40	031	046
R10		A		1,25							
	A - B		180		0,87	1,000	1,000	13,00	13,00	014	014
		B		0,49							
	B - apex		140		0,24	0,27	0,61	13,00	7,93	018	032
R11		A		0,50							
	A - B		75		0,39	1,000	1,000	0,50	0,50	015	015
		B		0,28							
	B - apex		75		0,14	0,36	0,68	0,50	0,34	022	037
R12		A		1,25							
	A - B		35		1,02	1,000	1,000	2,50	2,50	014	014
		B		0,80							
	B - apex		220		0,40	0,39	0,70	2,50	1,75	126	140
R13		A		3,75							
	A - B		70		3,56	1,000	1,000	5,00	5,00	014	014
		B		3,37							
	B - C		50		3,44	0,97	0,99	5,00	4,95	010	024
		C		3,52							
	C - D		75		2,84	0,80	0,92	5,00	4,60	016	040

BCU IAȘI - CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

		D		2,17							
	D - apex		220		1,08	0,30	0,63	5,00	3,10	071	111
		A		2,25							
	A - B		45		2,16	1,000	1,000	3,50	3,50	013	013
		B		2,07							
R14	B - C		110		1,72	0,80	0,92	3,50	3,20	034	047
		C		1,37							
	C - apex		265		0,68	0,31	0,64	3,50	2,20	120	167
		A		1,000							
	A - B		25		0,92	1,000	1,000	1,40	1,40	018	018
R15		B		0,85							
	B - apex		205		0,42	0,46	0,74	1,40	1,40	197	215
		A		1,000							
	A - B		155		0,71	1,000	1,000	10,00	10,00	015	015
R16		B		0,42							
	B - apex		125		0,21	0,29	0,62	10,00	6,20	020	035
		A		1,000							
	A - B		75		0,71	1,000	1,000	11,70	11,70	006	006
R17		B		0,42							
	B - apex		130		0,21	0,29	0,62	11,70	7,20	018	024
		A		5,75							
	A - B		25		5,61	1,000	1,000	1,73	1,73	014	014
		B		5,47							
R18	B - C		100		5,22	0,93	0,97	1,73	1,68	059	073
		C		4,97							
	C - D		170		4,24	0,75	0,90	1,73	1,50	113	186
		D		3,52							
	D - apex		360		1,76	0,31	0,64	1,73	1,11	324	510
		A		0,37							
R19	A - B		30		0,33	1,000	1,000	1,10	1,000	030	030
		B		0,30							

	B - apex		105		0,15	0,45	0,74	1,10	0,81	129	159
		A		2,00							
	A - B		15		1,86	1,000	1,000	1,000	1,000	015	015
		B		1,72							
	B - C		60		1,62	0,87	0,95	1,000	0,95	063	078
R20		C		1,52							
	C - D		110		1,29	0,69	0,87	1,000	0,87	126	204
		D		1,07							
	D - apex		255		0,53	0,28	0,62	1,000	0,62	411	615
		A		1,87							
	A - B		65		1,59	1,000	1,000	4,10	4,10	015	015
		B		1,32							
R21	B - C		90		1,07	0,67	0,86	4,10	3,50	026	041
		C		0,82							
	C - apex		270		0,41	0,26	0,60	4,10	2,50	108	149
		A		4,50							
	A - B		120		4,30	1,000	1,000	7,50	7,50	016	016
		B		4,20							
	B - C		50		4,06	0,94	0,98	7,50	7,30	007	023
R22		C		3,92							
	C - D		120		3,51	0,82	0,93	7,50	6,90	017	040
		D		3,10							
	D - apex		275		1,55	0,36	0,68	7,50	5,10	054	094

B) pe roci nisipoase

		A		0,60							
R23	A - B		5		0,57	1,000	1,000	0,75	0,75	007	007
		B		0,55							
	B - apex		115		0,27	0,47	0,62	0,75	0,46	250	257
		A		0,75							
R24	A - B		10		0,71	1,000	1,000	2,15	2,15	005	005
		B		0,68							

BCU IAȘI - CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

	B - apex		170		0,34	0,48	0,62	2,15	1,33	128	137
		A		1,37							
R25	A - B		15		1,23	1,000	1,000	1,75	1,75	009	009
		B		1,10							
	B - apex		175		0,55	0,45	0,60	1,75	1,05	167	176
		A		0,67							
R26	A - B		25		0,52	1,000	1,000	1,50	1,50	017	017
		B		0,52							
	B - apex		80		0,26	0,50	0,64	1,50	0,96	083	100
		A		4,80							
	A - B		25		4,62	1,000	1,000	5,50	5,50	004	004
R27		B		4,45							
	B - C		155		3,23	0,70	0,79	5,50	4,30	036	040
		C		2,02							
	C - apex		140		1,01	0,22	0,38	5,50	2,09	067	107
		A		1,70							
R28	A - B		70		1,45	1,000	1,000	3,37	3,37	021	021
		B		1,20							
	B - apex		165		0,90	0,62	0,74	3,37	2,50	066	087
		A		6,20							
	A - B		40		6,12	1,000	1,000	1,20	1,20	033	033
R29		B		6,05							
	B - C		275		5,21	0,85	0,90	1,20	1,08	255	288
		C		4,37							
	C - apex		405		2,18	0,36	0,52	1,20	0,62	653	941
		A		1,10							
R30	A - B		30		1,05	1,000	1,000	0,55	0,55	054	054
		B		1,00							
	B - apex		245		0,50	0,48	0,62	0,55	0,34	720	774
R31		A		1,10							
	A - B		20		1,05	1,000	1,000	1,55	1,55	013	013

		B		1,00							
	B - C		145		0,50	0,48	0,62	1,55	0,96	151	164
		C		0,50							
	C - apex		165		0,25	0,24	0,40	1,55	0,62	266	430
		A		1,75							
	A - B		40		1,72	1,000	1,000	3,00	3,00	013	013
R32		B		1,70							
	B - apex		380		0,85	0,49	0,63	3,00	1,90	200	213
		A		1,40							
	A - B		40		1,35	1,000	1,000	2,60	2,60	015	015
R33		B		1,30							
	B - apex		4000		0,65	0,48	0,62	2,60	1,61	248	263
		A		2,35							
	A - B		25		2,30	1,000	1,000	2,25	2,25	011	011
		B		2,25							
	B - C		45		2,11	0,92	0,95	2,25	2,13	021	032
R34		C		1,97							
	C - D		65		1,67	0,73	0,82	2,25	1,84	035	067
		D		1,37							
	D - apex		160		0,68	0,29	0,45	2,25	1,01	158	225
		A		2,50							
	A - B		55		2,38	1,000	1,000	2,75	2,75	020	020
		B		2,27							
R35	B - C		85		1,89	0,79	0,86	2,75	2,36	036	056
		C		1,52							
	C - apex		170		0,76	0,32	0,48	2,75	1,32	129	185
		A		0,92							
	A - B		35		0,90	1,000	1,000	1,76	1,76	020	020
R36		B		0,88							
	B - apex		320		0,44	0,49	0,63	1,76	1,10	291	311

BCU IASI - CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

R37		A		1,87							
	A - B		45		1,82	1,000	1,000	2,00	2,00	022	022
		B		1,77							
	B - C		80		1,59	0,87	0,91	2,00	1,82	044	066
		C		1,42							
	C - D		70		1,21	0,66	0,77	2,00	1,54	045	111
		D		1,00							
	D - E		100		0,78	0,43	0,58	2,00	1,16	086	197
		E		0,57							
	E - apex		105		0,28	0,15	0,30	2,00	0,60	175	372
R38		A		1,00							
	A - B		75		0,78	1,000	1,000	3,23	3,23	023	023
		B		0,57							
	B - apex		110		0,28	0,36	0,52	3,23	1,68	065	088

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

SUMMARY

Gully erosion is one of the most spectacular processes of field degradation. The presence and the development of subsurface erosion create serious problems to the economy of a region. By their high rate of extension the gullies affect large agricultural fields yet they also supply sediments in rivers and storage reservoires. The seriousness of gully erosion in a drainage basin is often calculated as percent of the whole surface or as density per sqkm.

We consider that geomorphology is due to explore this category of lands microrelief using the most recent methods and concepts as we have noticed that they are far behind the engineering sciences as far as gullies are concerned. Therefore, it is necessary to write a monographic-like paper on a quasi-present phenomenon having the following objectives:

- Defining gullies and the classification criteria as instruments of recognition in the field
- Developing of the conceptual basis and of the gully investigation methodology
- Analysis of regional factorials in gully distribution · Research of gully geomorphometry (study cases)
- Analysis of geomorphological processes in a gully system · Stages of gully evolution

The results in this paper are mostly based on our field research during long campaigns of investigating subsurface erosions in Moldavia Tableland and in flysch mountains and of choosing the sample fields we closely investigated (topographic levellings as we lacked cartographic materials on a reasonable scale for the study of relief microforms, geomorphological map drawing, marking profiles and taking deposits samples from the gully area etc); all these spread over a long period of time between 1986-I998.

As far as terminology is concerned, *gullies* are forms of subsurfa.ce erosion, sectioned in breakable rocks formed of a steep-sidewalled charmel and thalweg threshold with a transversal section larger than 1000 sqcm, with an initiating threshold characterized by an ephemeral liquid leakage and which are not removed by the common agricultural operations.

The enumeration of the classifications most often quoted permitted us to emphasize those that help us understand the extension, diversification and genesis of the phenomenon. From this point of view *the classification after the*

longitudinal profile was largely spread in the specialist literature as the distinction between discontinuous and continuous gullies gives the terminology more weight; the two terms contain dimensional significations (continuous gullies are generally larger than discontinuous ones) even genetical, of their position in the space, but may be the most important aspect is the stage of evolution; discontinuous gullies are older than continuous gullies.

The theoretical basis for the research of the physical processes initiating gullies and contributing to their development (evolution) can be found in concepts geomorphology has long been operating with, such as: *concept of geomorphological threshold, of allometrical growth, law of exponential development.*

Trying to order the opinions and knowledge acquired on the causes of gulling we appealed to the possibility offered by Stocking (1981) and motivated by Nordstrom (1988) in order to divide the factors affecting the gully erosion and we join it as it is the most suitable way of approaching the causes of gully formation. Therefore these factorials or variables are divided as follows:

-*intrinsic variables* present in the geomorphological system (e.g. the climate, the landscape, the rock, the vegetation);

-*extrinsic variables* (e.g. overgrazing, deforesting, agricultural operations, sloping roads) unknown to the geomorphological system but which may cause changes in the actions of the variables belonging to the geomorphological system.

The relationship between the accelerated erosion of gullies and the manner of combining the intrinsic / extrinsic variables is still not completely understood. A hypothetical model trying to gather and relate the possible variables of gully erosion is presented in fig. 6.1. The term of *susceptibility* of certain fields in the initiation of gully erosion helps us understand that gully initiation is a process that can be explained on condition that we do this in each particular case. Susceptibility takes into consideration the sum of Nordstrom's superior level variables, i.e. the elements characterizing the rock-runoff interface.

The gullies are landsca.pe modes appearing in the most various physicalgeographical conditions on Earth. Yet there are climate areas propitious to gully formation and growth. Fig. 7. 1. is an image showing that gullies frequently occur on relatively gentle slopes, in arid and subhumid climate with rare vegetation and increased anthropic impact. The sensitivity of the fields towards gullies is ma.ximum in these regions although many other humid areas are characterized by their presence. The gully distribution has been approached on the basis of two study ca.ses (Moldavia Tableland, Romania and Lesotho, South Africa) comparable as far as method and suggestive of the way this problem may be approached are concerned.

A study of specific geomorphometry was applied in the case of gullies in Moldavia Tableland, starting from the premise that morphometrical parameters of a landscape mode have diagnostic power. The results of this study are

arranged in the following sections: i) on the allometrical growth of gullies; ii) effect of the sediment grain size from the gully; iii) geomorphological processes in the gully system; iv) morphology of longitudinal profile; v) gully heads problem.

The main conclusions obtained from this analysis are as follows:

- A gully represents a morphological system that can be described through a set of variables. An important part of these variables are morphometric and this helped us build a model of'hydraulic geometry' for gullies. The morphometric variable with an independent role in the variation control of the other gully sizes was considered to be the distance from the head to the mouth of the gully (DVF). The choice was motivated by the fact that the initiation area of the gully modifies very quickly and brings along the modification of all downstream geometrical parameters. The building of an allometrical model for gully growth occurs for the first time in our literature and it can be valuable when choosing e most suitable measures of field degradation control.

- Another important set of variables controlling gully growth is that of the types of deposits the gullies have sunk in. Gullies respond differently to the action of modelating agents depending on the sediment grain size they grow on. A first observation demonstrated by means of a ternary diagram in fig. 8.6. is the discriminating role of the lithological type in the distinction of gully test group: 1. *silt-clay* characterizing the gullies in the north part of the investigated area (Sulita, Gurguiata, Coada Ga.Îtii) and superposing the lutite of low and middle Sarmatian age. The typical grain repartitions of these deposits is characterized by right asymmetry (fig.8.6.) given by the domination of fine fractions (> 10%); 2. *silt* for the gullies in the middle part of the investigated area relating the Sarmatian lutite to the Meotian sands inserted with gritstone and clay (Roşcani and Poiana gullies). In this case the grain size repartitions are either unimodal, symmetrical (around 4-8 phi) or bimodal well represented at the extremities of the histogram (> 10 phi and < 4 phi); 3 . *sandy* characterizing the gullies in the south part of the area (Fantanele, Bazanu, Meria) where the rock is mainly sandy (sands and clays inserted with volcanic tuffs and gritstones) of Meotian, Pontian, Dacian and Romanian age. The histograms indicate high percentages of diameter under 2 phi.

- The great number of variables used in the gully studies made us appeal to the methodology of multivaried analysis, following two aspects: *R* - mode and *Q* - mode. The result shows that: using *R* - mode analysis we reduce the number of variables (from 34 to 4) essentially containing the same amount of information as the original set yet they have the advantage of being fewer and they permit the identification of the related variable groups. Furthermore one can estimate the weight in a correlation system and they can be part of a forecast model. The *Q* - mode factorial analysis resulted in 3 factorials out of 11 analysed variables. Besides, each factorial is associated to a certain grain distribution interpreted as a textural response

to one of the dominant geomorphological processes in the gully area: *factorial I* - longitudinal transport on the bottom of the gully; *factorial II* - collapses and landslides of gully sidewalls; *factorial III* - clay storage processes in gully deposits. The problem of geomorphological processes of gullies will be analysed in a special section of the paper.

- The factorial analysis has particularly revealed the role of parameter *M* containing the characteristics of the transversal section geometry of the gully and those of the grain size. The parameter is the weighted mean percent silt-clay from the gully perimeters. The parameter *M* variation in the perimeters of the transversal section indicated that the weighted mean percent silt-clay controls the form of the section, but in a reverse manner compared with the case of river beds. A reduced value of parameter *M* generally characterizes the deep narrow gullies with vertical walls. When the substratum is made of high percent silt-clay the gullies tend to be large and less deep. Consequently parameter *M* has been chosen as criterion of gully classification because its formula simultaneously includes more independent variables. This is one of the original contributions in specialist literature.

- There are two types of geomorphological processes in a gully: *sidewall processes* (earth falls, collapses, landslides, flows and also overflows, badlands); *longitudinal transport processes*. The gully head is the most dynamic from a gully perimeter. Experimental research has shown that instability is due to water concentration towards the gully head, to infiltration and seepage formation where two structural entities meet (mostly different levels of the soil). Sidewalling takes place in the area of seepage formation. The longitudina.l transport or the "cleaning" of collapsed materials from a gully results from the action of the flow drawing force in the limits of the channel.

- The proportion between sidewall and the longitudinal transport processes varies between 0.1 and 10 but over 50% vary between 1 and 10. On the whole, sidewall processes contribute to gully erosion 1-5 times more than the deepening processes.

- Knowing the chemistry of gully sediments may lead to important indications on gully stabilization and especially on sidewalls. From geochemical parameters of interest in the study of gullies we chose those indica.ting the stability rate of the sediments such as the absorbed sodium percent (ASP), the electric conductivity (EC), and the salts disolved in the soil solution (SS). The sediments instability rate depends on the relation between the cataionic exchange capacity formula and the infiltration water; in the case of soils containing a high percent of clay instability is given by their modification as a result of sodium enrichment at the surface of clay aggregate. Coming back to the gullies we have studied we may say that *sidewalls stability is produced from head to gully bed as the chemistry of*

surface sediments, but also the type and the density of the existing vegetation indicate.

- Variation of longitudinai profile form is one of the indicators that, according to Heede (1974) can express the evolution stage of a gully. We approached the study of longitudinal profile as compared to those of the rivers and we determined the "hydraulic efficiency threshold": a value over 2 indicates a hydraulic inefficiency of the gullies while a value under 2 indica.tes a vigorous gully capable of evacuating the material in the thalweg. Ionita (1998) also suggests a "hydrological efficacy threshold" which is not fundamentally different from Heede's. Both indicators present enough applica.tion guarantees in order to determine the section in the course of gully stabiliza,tion on condition that they are used for distinct gullies in accordance to their discontinuous or continuous typology and if they are discontinuous t he "long loudspeaker" gullies or singular ones should be separated from "short loudspeaker" gullies or from those in succession.

- The attention paid to the most dynamic part of gullies - the head, the apex or the headcut has not yet been able to clearly identify the nature of gully extension and bifurcation. Difficulties appeared when they tried to simulate gully evolution using mathematical models. As far as we are concerned we approached a systematics of different gully heads types that would lead us to information about the route of gully formation.

The problem of gully evolution has mainly been approached on the basis of the *model* concept, the most simple and direct means of understanding the complica.ted discontinuous relations of the systems in the real world. That is why we considered that an important section of the chapter economy should deal with the types of gully evolution models that we presented historically. We also took into consideration the complexity of the model types from conceptual, qualitative to mathematical, quantitative so that all the information obtained from the specialism literature was organized on this criterion of model classification.

The qualitative models considered to be the most simple are based on the author's power of intuition that indeed a phenomenon from the real world will go over certain stages. In spite of their inherent shortcomings these models were e basis of numerous arrangements and preservation of gully degraded fields.

Yet practitioners in the field of agricultural land irnprovement demanded models that should rely more on quantitative information from the field and less on men speculation so that we now dispose of an important data basis on gully evolution. The statistical models are most numerous and start from a reasonable knowledge of gully growth under certain conditions and extrapolate them in time on the basis of some simple mathematical relations. We have presented no less than seven such models built to meet the most various

conditions of evolution, from the semi-arid area of Israel or the south- east of the USA to the conditions of temperate climate in the south of Canada or continental in the Russian Plane and to the maritime temperate climate in the north- west of England.

From the more elaborate class of models we only mentioned a few as specialist literature is much less concerned with such models. A reason would be the difficulty of application, the numerous data one has to take into consideration, the access to a more sophisticated calculation technique and consequently a limitation of the efforts in this direction. A new and very active course is the one using the Geographical Information System (GIS) that also includes the problem of field modeling evolution through gully processes.

Relating to gully evolution in Moldavia Tableland several types of statistical models of different types have been applied such as the multiple regression model (Rădoane et al., 1997) or the dynamic model series (Ionita, 1998) and consequently the results could be compared.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

" Ravenele, ca şi procesele de eroziune în adâncime care le generează, au o tendinţă accelerată de extindere pe Terra, fiind unul din fenomenele cu perspective evidente de globalizare, în detrimentul unei utilizări eficiente a terenurilor.

Lucrarea "Morfologia şi dinamica ravenelor" prezintă o sinteză a stadiului actual al cunoştinţelor în acest domeniu şi rezultatele investigaţiilor întreprinse de autori. Ea se remarcă printr-o abordare modernă a problemelor, analizate la nivelul celor mai recente cercetări existente pe plan internaţional.

Datorită stilului clar şi atrăgător, explicării precise a noţiunilor utilizate şi ilustrării grafice sugestive a fenomenelor prezentate, volumul este accesibil şi util pentru un cerc larg de cititori."

Prof. univ. dr. Dan Bălteanu
Membru Corespondent al Academiei Române

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

ISBN 973-595-025-1